



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISA KEKUATAN MEMANJANG DAN LONGITUDINAL BUCKLING PADA KAPAL SURVEI SEISMIC GEOMARIN IV

TSANY NAUFAL HIDAYAT

NRP. 4313 100 078

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017



TUGAS AKHIR - MO141326

LONGITUDINAL STRENGTH AND LONGITUDINAL BUCKLING ANALYSIS ON SEISMIC SURVEY SHIP GEOMARIN IV

TSANY NAUFAL HIDAYAT

NRP. 4313 100 078

Supervisors :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 60111

2017

**Analisa Kekuatan Memanjan dan Longitudinal Buckling pada Kapal Survei Seismik
Geomarin IV**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Tsany Naufal Hidayat

NRP. 4313 100 078

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Eko Budi Datmiko, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Ir. Mas Murtedjo, M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Ir. Murdjito, M.Sc. (Penguji 1)

4. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Penguji 2)

5. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2017

Analisa Kekuatan Memanjang dan Longitudinal Buckling pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV

Nama : Tsany Naufal Hidayat
NRP : 4313100078
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M. Sc., Ph. D.
Ir. Mas Murtedjo, M. Eng.

Abstrak :

Sebuah bangunan laut terapung pasti akan terpapar oleh beban gelombang pada saat beroperasi. Beban gelombang ini akan berinteraksi dengan berat struktur terapung dan akan menimbulkan efek gaya geser serta selanjutnya momen lengkung. Kondisi ini akan menjadi semakin buruk seiring dengan meningkatnya ekstrimitas kondisi lingkungan. Pada tugas akhir ini, permodelan lambung bangunan laut berupa kapal survei seismik akan dilakukan dengan menggunakan *software MOSES* untuk mendapatkan data RAO *heave* dan *pitch* dari kapal yang telah dimodelkan. Data ini digunakan untuk menghitung distribusi beban dan *buoyancy* sepanjang lambung. Analisa dilanjutkan dengan menggunakan pendekatan quasi-statis untuk mendapatkan nilai *shear force* dan *bending moment* sepanjang lambung pada tiap – tiap frekuensi gelombang. Setelah itu dilakukan analisa *longitudinal buckling* pada kapal survei seismik *geomarin IV* untuk menunjukkan bahwa kapal telah memenuhi standard kekuatan puncak sesuai dengan persyaratan klasifikasi. Setelah dilakukan analisa diperoleh hasil stress terbesar pada kondisi yang telah ditingkatkan ekstrimitasnya terjadi dengan nilai 22395 MPa pada kondisi full load dan 30654 MPa pada kondisi *light load*. Kedua harga ini masih memenuhi persyaratan kekuatan memanjang yang disyaratkan oleh BKI yaitu 95904 MPa. Selain itu hasil indikator *longitudinal buckling* pada kapal survei seismik *Geomarin IV* untuk kondisi *full load* yaitu 0.000203 dan 0.00259 untuk kondisi *light load*. Keduanya masih di bawah indikator *longitudinal buckling* yang disyaratkan oleh BKI yaitu sama atau lebih dari 1.0. Karena itu diyakini kapal survei seismik *Geomarin IV* tidak akan mengalami kegagalan *longitudinal buckling* pada kondisi operasi.

Kata Kunci : Kapal survei seismik, Kekuatan struktur memanjang, *Longitudinal buckling*, *Ultimate strength*.

LONGITUDINAL STRENGTH AND LONGITUDINAL BUCKLING ANALYSIS ON SEISMIC SURVEY SHIP GEOMARIN IV

Nama : Tsany Naufal Hidayat
NRP : 4313100078
Department : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M. Sc., Ph. D.
Ir. Mas Murtedjo, M. Eng.

Abstract :

A floating offshore structure always exposed from wave force when operated. Wave force that interact with the weight of offshore structure will generate a shear force and also a bending moment. This condition will get worse along with the increasing extremity of environmental condition. In this essay, the hull of seismic survey ship will be modeled using software MOSES to create heave and pitch RAO from the ship that has been modeled. This RAO data will be needed to calculate weight distribution and buoyancy along the ship's hull. Then quasi-static approach will be used to generate shear force and bending moment along the hull in every frequency. After that, longitudinal buckling analysis will be done in order to ensure that the ship has satisfied the classification requirement. The result show that maximum stress in environmental that has been increased its extremity is 22395 MPa in full load condition and 30654 MPa in light load condition. Both of them satisfy the requirement from Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) which is 95904 MPa. Furthermore, the result of longitudinal buckling indication for full load condition is 0.000203 and 0.00259 for light load condition. Both satisfy the requirement from BKI which is equal to or more than 1.0. Therefore, it is believed that seismic survey ship Geomarin IV will not experience longitudinal buckling under operating condition.

Kata Kunci : Kapal survei seismik, Kekuatan struktur memanjang, *Longitudinal buckling*, *Ultimate strength*.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini berjudul “*Analisa Kekuatan Memanjang dan Longitudinal Buckling pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV*”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini secara khusus akan membahas mengenai kekuatan memanjang pada kapal dan buckling yang dapat terjadi khususnya pada kapal survei seismik yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan air dan pembebanan pada kapal. Adanya Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah wawasan pembaca mengenai kekuatan memanjang pada kapal dan beban yang dapat diterima oleh kapal baik beban eksternal maupun beban internal.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran guna meningkatkan kemampuan menyusun laporan yang lebih baik lagi ke depannya. Penulis juga berharap semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 2017

Tsany Naufal Hidayat

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc selaku pembimbing 1 yang telah memberi bimbingan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
2. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng selaku pembimbing 2 yang telah memberi bimbingan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
3. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. selaku dosen wali yang selalu memberikan bimbingan dan saran selama masa perkuliahan
4. Anggota pengurus Laboratorium Hidrodinamika ITS 2016/2017 yang selalu memberikan dukungan agar penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
5. Keluarga yang selalu memberikan support dan tak henti hentinya untuk membesarkan hati menjalani kuliah
6. Valtameri yang telah berjuang bersama dan berbagi rasa dalam menempuh tugas akhir.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya atas segala bentuk bantuannya kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
ASBTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN	3
1.4 MANFAAT	3
1.5 BATASAN MASALAH	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.2 DASAR TEORI	6
2.2.1 Kapal Survei Seismik.....	6
2.2.2 Teori Gerakan Bangunan Apung	7
2.2.3 Gerakan <i>Heave</i>	9
2.2.4 Gerakan <i>Pitch</i>	11
2.2.5 Gerakan Bangunan Laut dalam 6 Derajat Kebebasan.....	13
2.2.6 Gerakan <i>Couple Heave</i> dan <i>Pitch</i>	14
2.2.7 Response Amplitude Operator (RAO)	21
2.2.8 Spektrum Gelombang.....	23
2.2.9 Spektra Respons	25
2.2.10 Kekuatan Memanjang Struktur Kapal.....	26
2.2.11 Respons Struktur Bangunan Laut Berlambung Tunggal	27
2.2.12 Perhitungan Respons Struktur dengan Metode Quasi-Statik	29

2.2.13	Analisa <i>Stiffened Panel Buckling</i>	30
2.2.14	Analisa <i>Longitudinal Buckling</i>	31
2.2.15	<i>Ultimate Strength</i> pada Plat Akibat <i>Shearing Force</i> dan <i>Bending Moment</i>	33
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		35
3.1	ALUR PENELITIAN	35
3.2	PROSEDUR PENELITIAN	36
3.3	PENGUMPULAN DATA	39
3.3.1	Data Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	39
3.3.2	Data Lingkungan Laut Masela	41
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		42
4.1	PEMODELAN STRUKTUR	42
4.2	HIDROSTATIK	44
4.3	LINES PLAN	45
4.4	KURVA BONJEAN	45
4.5	ANALISA GERAKAN KAPAL SURVEI SEISMIK <i>GEOMARIN IV</i>	46
4.5.1	Full Load	47
4.5.1.1.	Perhitungan Titik Berat Struktur	47
4.5.1.2.	Perhitungan Radius Girasi	47
4.5.1	Light Load	48
4.5.2.1	Perhitungan Titik Berat Struktur	48
4.5.2.2	Perhitungan Radius Girasi	49
4.6	ANALISA RAO	49
4.7	ANALISA DISTRIBUSI BEBAN	53
4.8	ANALISA <i>SHEAR FORCE</i> DAN <i>BENDING MOMENT</i> PADA GELOMBANG REGULER	58
4.9	PERHITUNGAN SECTION MODULUS	60
4.10	ANALISA GAYA GESER DAN MOMEN LENGKUNG PADA METODE QUASI-STATIS	63
4.11	ANALISA <i>LONGITUDINAL BUCKLING</i>	73
4.12	PEMODELAN <i>LOCAL STRUCTURE</i>	75
4.13	ANALISA <i>ULTIMATE STRENGTH</i>	76

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 KESIMPULAN	79
5.2 SARAN	80
DAFTAR PUSTAKA	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kapal Survei Seismik KR Geomarin III	1
Gambar 2.1	Ilustrasi Survei Seismik yang dilakukan oleh Kapal Survei Seismik	6
Gambar 2.2	Gerak translasi dan rotasi pada kapal	9
Gambar 2.3	Ilustrasi Gerakan <i>Heave</i>	11
Gambar 2.4	Ilustrasi Gerakan <i>Pitch</i>	13
Gambar 2.5	Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung	22
Gambar 2.6	Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respons	26
Gambar 2.7	Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i>	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	35
Gambar 3.2	<i>General Arrangement</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	40
Gambar 4.1	<i>General Arrangement</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	43
Gambar 4.2	Pemodelan Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> dengan Menggunakan Maxsurf Modeler	43
Gambar 4.3	<i>Lines Plan</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	45
Gambar 4.4	Kurva Bonjean Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	46
Gambar 4.5	Grafik RAO Gerakan <i>Heave</i> pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	51
Gambar 4.6	Grafik RAO Gerakan <i>Pitch</i> pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	52
Gambar 4.7	Grafik Distribusi Beban LWT pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	54
Gambar 4.8	Grafik Distribusi Beban DWT pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	55
Gambar 4.9	Grafik Distribusi Beban DWT pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	56
Gambar 4.10	Grafik Distribusi Beban Total pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	57
Gambar 4.11	Grafik Distribusi Beban Total pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	57
Gambar 4.12	Grafik <i>Shear Force</i> pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	58

Gambar 4.13	Grafik <i>Bending Moment</i> pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	59
Gambar 4.14	Grafik <i>Bending Moment</i> pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	59
Gambar 4.15	Grafik <i>Bending Moment</i> pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	60
Gambar 4.16	Grafik Sebelas Variasi per Periode pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi <i>Full Load</i>	64
Gambar 4.17	Pola gerakan kapal, <i>shear force</i> , dan <i>bending moment</i> di gelombang haluan $h = 2.0$ m dan $\omega = 0.5$ rad/s pada kondisi <i>Full Load</i>	65
Gambar 4.18	Grafik Distribusi <i>Shear Force</i> pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi <i>Full Load</i>	66
Gambar 4.19	Grafik Distribusi <i>Bending Moment</i> pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi <i>Full Load</i>	66
Gambar 4.20	Grafik RAO <i>Shear Force</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	67
Gambar 4.21	Grafik RAO <i>Bending Moment</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	68
Gambar 4.22	Grafik Sebelas Variasi per Periode pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi <i>Light Load</i>	69
Gambar 4.23	Pola gerakan kapal, <i>shear force</i> , dan <i>bending moment</i> di gelombang haluan $h = 2.0$ m dan $\omega = 0.5$ rad/s pada kondisi <i>Light Load</i>	70
Gambar 4.24	Grafik Distribusi <i>Shear Force</i> pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi <i>Light Load</i>	71
Gambar 4.25	Grafik Distribusi <i>Bending Moment</i> pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi <i>Light Load</i>	71
Gambar 4.26	Grafik RAO <i>Shear Force</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	72
Gambar 4.27	Grafik RAO <i>Bending Moment</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	73
Gambar 4.28	Model <i>Local Structure</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	75
Gambar 4.29	Sensitivitas Model Elemen Hingga	76
Gambar 4.30	Proses <i>Meshing</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	77

Gambar 4.31	Daerah yang Mendapatkan <i>Stress</i> Maksimum pada Kondisi <i>Full Load</i>	77
Gambar 4.32	Daerah yang Mendapatkan <i>Stress</i> Maksimum pada Kondisi <i>Light Load</i>	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Amplitudo dan Tinggi Gelombang Pada Spektrum	24
Tabel 3.1	<i>Principal Dimension</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	39
Tabel 3.2	Data lingkungan Laut Masela dengan <i>return period</i> 10 tahun	41
Tabel 4.1	<i>Principal Dimension</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	42
Tabel 4.2	Koreksi Hidrostatik Model dengan Kapal yang Sebenarnya pada Kondisi <i>Full Load</i>	44
Tabel 4.3	<i>Centre of Gravity</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	47
Tabel 4.4	Radius Girasi Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	48
Tabel 4.5	<i>Centre of Gravity</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	49
Tabel 4.6	Radius Girasi Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	49
Tabel 4.7	RAO Gerakan <i>Heave</i> dan <i>Pitch</i> pada Arah Datang Gelombang <i>Headseas</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	50
Tabel 4.8	RAO Gerakan <i>Heave</i> dan <i>Pitch</i> pada Arah Datang Gelombang <i>Headseas</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	50
Tabel 4.9	Nilai Maksimum RAO gerakan <i>Heave</i> dan <i>Pitch</i>	53
Tabel 4.10	Komponen Berat LWT	53
Tabel 4.11	Komponen Berat DWT pada Kondisi <i>Full Load</i>	55
Tabel 4.12	Komponen Berat DWT pada Kondisi <i>Light Load</i>	56
Tabel 4.13	Shear Force dan Bending Moment Maksimum	60
Tabel 4.14	Perhitungan Allowable Stress	61
Tabel 4.15	Pengecekan <i>stress</i> pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i>	61
Tabel 4.16	Pengecekan modulus pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> ..	62
Tabel 4.17	Pengecekan Inersia pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i>	62
Tabel 4.18	Pengecekan <i>stress</i> pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Light Load</i>	63
Tabel 4.19	Sebelas Variasi per Periode pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi <i>Full Load</i>	63

Tabel 4.20	Sebelas Variasi per Periode pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi <i>Light Load</i>	69
Tabel 4.21	Hasil Pengecekan <i>Longitudinal Buckling</i>	75

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Saat ini penggunaan minyak dan gas sudah tidak bisa dipisahkan lagi dalam kehidupan kita. Kebutuhan akan minyak dan gas terus meningkat seiring dengan berkembang pesatnya industri dalam negeri. Namun kebutuhan ini belum diimbangi dengan kekuatan produksi dan jumlah cadangan minyak dan gas yang kita miliki pada saat ini. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemerintah terus mendorong agar kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas di perairan dalam (*deep water*) terus digencarkan. Salah satu metode awal yang harus dilakukan sebelum memulai eksplorasi di perairan dalam adalah harus terlebih dahulu melakukan survei seismik dengan tujuan untuk mengetahui kandungan mineral yang ada di bawah permukaan bumi dengan menggunakan metode geofisika memanfaatkan penalaran gelombang. Hasil dari survei seismik adalah penampang lapisan batuan di bawah permukaan bumi yang berguna dalam kegiatan eksplorasi minyak dan gas. Untuk menunjang kegiatan survei seismik di perairan dalam, maka dibutuhkan sebuah kapal survei seismik.



Gambar 1.1. Kapal Survei Seismik KR Geomarin III

Kapal survei seismik seperti dicontohkan pada Gambar 1.1 merupakan kapal yang berfungsi untuk melakukan survei geologi, geofisika, oseanografi, dan hidrografi agar

mampu menunjang kegiatan survey seismik di laut dalam. Sesuai fungsinya kapal survey dilengkapi dengan peralatan seperti *echosounder* yang berfungsi untuk mengukur kedalaman, lalu ada juga peralatan untuk sampling, serta *conductivity temperature depth* untuk mengukur salinitas, dan *Accoustic Doppler Current Profile* untuk mengukur dan melihat arus. Kapal survei seismik akan memberikan informasi yang tepat akan keberadaan minyak dan gas sehingga mengurangi resiko kerugian akibat sumur yang kering.

Sama seperti bangunan-bangunan laut lain, jelas bahwa gelombang merupakan beban eksternal utama yang bekerja pada kapal survei seismik. Sehingga, beban utama ini dengan sendirinya harus dipertimbangkan dalam perancangan untuk memberikan beban maksimum pada struktur global. Lebih dari itu, beban gelombang yang bersifat siklis, meskipun intensitasnya tidak dapat dikatakan ekstrim, akumulasinya jelas akan menyebabkan kerusakan dalam bentuk kelelahan struktur (Djarmiko, 1995).

Karena itu perhitungan *shear force* dan *bending moment* pada tiap frekuensi gelombang perlu dilakukan untuk mengetahui nilai maksimum *shear force* dan *bending moment* pada tiap station. Nantinya, nilai maksimum ini akan menjadi RAO untuk *shear force* dan *bending moment* untuk selanjutnya dilakukan analisa nilai ekstrem *shear force* dan *bending moment* pada tiap station. Kapal sama seperti struktur lain, memiliki kekuatan yang terbatas, dan apakah untuk keperluan desain rutin, investigasi kerusakan, atau untuk menentukan dampak berkelanjutan yang berkaitan dengan usia degradasi struktural, prosedur yang relevan untuk menghitung kekuatan yang akurat adalah suatu keharusan (Paik dan Thayamballi, 2003).

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik gerakan *heave* dan *pitch* kapal survei seismik *Geomarin IV* pada gelombang regular?

2. Bagaimana karakteristik RAO respon struktur memanjang (*shear force* dan *bending moment*) pada kapal survei seismik *Geomarin IV*?
3. Bagaimana kekuatan memanjang kapal survei seismik *Geomarin IV* ketika menerima beban internal maupun eksternal?
4. Bagaimana karakteristik respons struktur terhadap *longitudinal buckling* pada kapal survei seismik *Geomarin IV*?

1.3. TUJUAN

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Menghitung dan menganalisa karakteristik gerakan *heave* dan *pitch* kapal survei seismik *Geomarin IV* pada gelombang regular
2. Menganalisa karakteristik RAO respon struktur memanjang (*shear force* dan *bending moment*) pada kapal survei seismik *Geomarin IV*
3. Menganalisa kekuatan memanjang kapal survei seismik *Geomarin IV* ketika menahan beban internal maupun eksternal
4. Menganalisa karakteristik respons struktur terhadap *longitudinal buckling* pada kapal survei seismik *Geomarin IV*

1.4. MANFAAT

Manfaat yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah dapat mengetahui *Response Amplitude Operator* (RAO) untuk *shear force* dan *bending moment* dari kapal survei seismik *Geomarin IV* serta dari tugas akhir ini akan diketahui respons struktur ekstrim dan efeknya dalam bentuk kegagalan *buckling* pada kapal survei seismik *Geomarin IV*, sehingga diharapkan tugas akhir ini mampu menjadi pertimbangan dan acuan dalam desain kapal survei seismik.

1.5. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengerjaan tugas akhir ini menggunakan kapal survei seismik *Geomarin IV*
2. Arah datang gelombang yang ditinjau 180° atau headseas

3. Beban angin dan arus diabaikan
4. Kapal survei seismik *Geomarin IV* saat beroperasi dengan tinggi gelombang signifikan (H_s) 4 meter
5. Analisa dilakukan pada saat kapal sedang dalam kecepatan maksimum
6. Distribusi berat top side berdasarkan desain yang ada
7. Gerak *Geomarin IV* yang ditinjau adalah *heave* dan *pitch* akibat gelombang haluan (180°)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Produksi minyak dan gas bumi terlihat cenderung bergerak ke perairan dalam yang mempunyai kondisi lingkungan laut yang lebih ganas dan bergelombang lebih besar dibandingkan perairan dangkal. Kondisi itu menjadi alasan dituntutnya fasilitas dan anjungan pengeboran yang lebih canggih, mempunyai stabilitas dinamis tinggi dan mampu bekerja pada kondisi gelombang yang intensif (Buslov dan Karsan, 1985).

Pada saat struktur terapung beroperasi, faktor lingkungan terutama beban gelombang akan menimbulkan respon gerak pada kapal tersebut. Lebih dari itu, beban gelombang yang bersifat siklis, meskipun intensitasnya tidak dapat dikatakan ekstrim, akumulasinya jelas akan menyebabkan kerusakan dalam bentuk kelelahan struktur (Djatkiko, 1995).

Studi mendalam tentang aspek gerakan dan kekuatan haluan pada kapal survei seismik Geomarin IV telah dilakukan oleh Ahmad (2016) dengan hasil nilai tegangan maksimum di bagian alas dan geladak haluan masing-masing sebesar 27.57 MPa dan 95.319 MPa dan dinyatakan aman karena hasil tersebut masih lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan izin yang dianjurkan oleh ABS “*Safeshull-Dynamic Loading Approach for Vessel*” yaitu sebesar 223.25 MPa.

Oleh karena itu, untuk keperluan desain yang lebih lanjut perlu adanya analisis struktur global dari kapal survei seismik Geomarin IV. Pada tugas akhir ini, akan dianalisa struktur global kapal survei seismik Geomarin IV dengan menggunakan pendekatan quasi-statis. Pendekatan ini merupakan peningkatan dari pendekatan metode konvensional untuk gelombang statis dengan memperhitungkan gerakan kopel *heave* dan *pitch* untuk mendapatkan nilai *shear force* dan *longitudinal bending moment* (Ariyanto, 2014).

Nantinya, nilai *shear force* dan *bending moment* yang didapatkan akan dianalisa lebih lanjut untuk mendapatkan nilai respons dari *shear force* dan *bending moment* untuk gelombang acak serta nilai ekstrim dari keduanya.

2.2. DASAR TEORI

2.2.1. Kapal Survei Seismik

Kapal survei seismik adalah salah satu jenis kapal yang berfungsi untuk melihat kondisi di bawah permukaan bumi untuk mengetahui kandungan apa saja yang ada di dalamnya. Hal ini akan membantu perusahaan dalam menentukan apakah suatu daerah mengandung hidrokarbon atau tidak melalui interpretasi penampang seismik.

Kapal survei seismic memiliki beberapa komponen yang berfungsi untuk mendukung proses survei seismik di laut. Komponen tersebut diantaranya ialah *airgun* dan *steamer*. Disini, *airgun* berfungsi sama seperti dinamit jika di darat, yaitu sebagai pembuat gelombang seismik untuk membuat pembacaan seismik. Terkadang *watargun* juga dipilih sebagai alternatif dari *airgun*. Getaran yang ditimbulkan *airgun* akan merambat ke segala arah di bawah permukaan sebagai gelombang getar. Gelombang yang datang mengenai lapisan-lapisan batuan dan akan mengalami pemantulan, pembiasan, dan penyerapan. Berikut ini pada Gambar 2.1 merupakan ilustrasi proses survei seismik menggunakan kapal survei seismik.



Gambar 2.1. Ilustrasi Survei Seismik yang dilakukan oleh Kapal Survei Seismik

Respon batuan terhadap gelombang yang datang akan berbeda-beda tergantung sifat fisik batuan yang meliputi densitas, porositas, umur batuan, kepadatan, dan kedalaman batuan. Gelombang yang dipantulkan akan ditangkap oleh *hydrophone* yang terdapat dalam *steamer*. Gelombang tersebut akan diteruskan ke instrumen untuk direkam. Hasil rekaman akan mendapatkan penampang seismik yang akan dijadikan acuan sebagai pemetaan terhadap potensi kandungan sumber daya alam dan mineral yang terdapat di bawah permukaan bumi.

2.2.2. Teori Gerakan Bangunan Apung

Sebuah kapal dibangun dengan tujuan untuk digunakan sebagai sarana transportasi, pengiriman barang dan material, serta sebagai senjata. Untuk dapat menjalankan berbagai macam fungsi tersebut, sebuah kapal mempunyai beberapa karakteristik. Kapal tersebut harus mampu untuk mengapung dengan stabil, bergerak dengan kecepatan yang cukup, mampu untuk bermanuver di atas laut, dan mampu untuk menahan beban dari lingkungannya.

Sebuah kapal yang bergerak pada permukaan laut selalu mengalami gerak osilasi. Gerakan osilasi yang dialami bangunan terapung selalu terdiri dari 6 mode gerakan bebas, dimana 3 mode gerakan merupakan gerakan translasional dan 3 gerakan lainnya merupakan gerakan rotasional seperti dicontohkan pada Gambar 2.2.

1. Gerakan translasional

- **Surging**, gerakan osilasi translasional arah sumbu x, gerakan maju dan mundur searah dengan arah gerak kapal
- **Swaying**, gerakan osilasi translasional arah sumbu y, gerakan ke samping *portside* dan *starboard* kapal
- **Heaving**, gerakan osilasi translasional arah sumbu z, gerakan naik dan turun

2. Gerakan rotasional

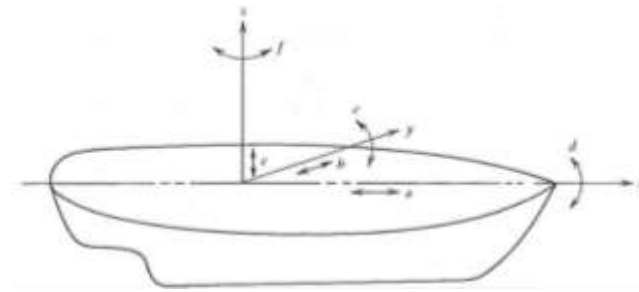
- **Rolling**, gerakan osilasi rotasional arah sumbu x, kapal bergerak dari arah *starboard* ke *portside* lalu kembali lagi ke *starboard*
- **Pitching**, gerakan osilasi rotasional; arah sumbu y, gerakan *trim* haluan atau buritan pada kapal
- **Yawing**, gerakan osilasi rotasional arah sumbu z

Dari 6 mode gerakan bebas di atas, hanya ada 3 gerakan yang merupakan gerakan osilasi murni, yaitu *heaving*, *rolling*, dan *pitching*. Karena gaya – gaya tersebut bekerja di bawah gaya pengendali atau momen ketika kapal diberi gangguan dari titik seimbangnya. Pada kasus *surging*, *swaying*, atau *yawing* kapal tidak akan kembali ke titik seimbangnya ketika diberi gangguan kecuali ada gaya atau momen pengembali yang bekerja berlawanan dengan arah gaya.

Untuk mempermudah pembelajaran olah gerak bangunan apung, maka hanya satu derajat kebebasan saja. Namun pada kenyataannya seluruh bangunan apung pasti bergerak dengan 6 derajat kebebasan. Namun susah untuk mempelajari hal ini, sehingga seringkali analisa mengenai gerakan kapal seringkali menggunakan gerakan *coupled* berikut:

1. *Heave* dan *pitch*
2. *Yaw* dan *sway*
3. *Yaw*, *sway*, dan *roll*
4. *Roll*, *yaw*, dan *pitch*

Dari empat gerakan *coupled* di atas, salah satu yang berhubungan dengan gerakan vertikal adalah *pitching* dan *heaving*. Gerak *coupled heave* dan *pitch* telah banyak dianalisa untuk kondisi *head sea* menggunakan suatu metode bernama *strip theory*. Metode *strip theory* bertujuan untuk meprediksi gerakan *pitch* dan *heave* kapal dengan karakteristik amplitudo dan frekuensi tertentu (Bhattacharyya, 1972).



Gambar 2.2. Gerak translasi dan rotasi pada kapal

(sumber: Bhattacharyya, 1972)

2.2.3. Gerakan *Heave*

Jika sebuah struktur kapal dipaksa ditenggelamkan ke dalam air dari titik setimbangnya dan dilepaskan secara tiba – tiba, maka struktur kapal tersebut akan bergerak ke atas dikarenakan gaya apungnya lebih besar dari beratnya. Struktur tersebut akan berlanjut naik meskipun sudah mencapai titik setimbangnya dikarenakan momentum. Namun, saat ini berat struktur kapal tersebut lebih besar daripada gaya apungnya sehingga gerakannya akan semakin melambat. Ketika kecepatan mencapai nol, struktur tersebut akan mencapai titik ekstrimnya, dan karena berat struktur lebih besar daripada gaya apung, maka struktur tersebut akan bergerak turun. Kecepatan turunnya struktur ini akan terus meningkat hingga dicapai titik setimbangnya, yaitu ketika gaya apungnya sama dengan berat struktur tersebut. Namun, momentum dari struktur kapal tersebut akan menyebabkan struktur kapal itu terus bergerak turun hingga mencapai titik ekstrimnya. Titik ini merupakan titik yang mengawali gerakan struktur tersebut. Namun, struktur kapal tersebut tidak akan berhenti di situ dikarenakan ketidakseimbangan gaya apung dan berat kapal tersebut. Gerakan naik turun seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.3 ini merupakan suatu gerak osilasi yang disebut *heave*.

Jika diasumsikan sebuah kapal diosilasikan naik turun oleh gaya natural yang periodik. Maka, untuk beberapa saat gerakan kapal tersebut akan tidak beraturan, gerakan ini disebut dengan *transient oscillation*. Tetapi, karena adanya efek redaman, mengakibatkan ketidak beraturan gerakan ini menghilang dan muncul gerakan osilasi yang beraturan. Hal ini disebut dengan *forced oscillation*,

dimana amplitudo dan frekuensi gerakan tergantung kepada amplitudo dan gelombang gaya eksitasi.

Terdapat empat elemen utama dalam gerakan *heave*, antara lain:

- Gaya inersia, muncul pada saat kapal bergerak osilasi

$$F_a = -a_z \ddot{\zeta}_3 \quad (2.1)$$

Dimana

a = massa tambah

$\ddot{\zeta}_3$ = percepatan vertikal ($d^2 \zeta_3 / dt^2$)

- Gaya peredam, selalu berlawanan dengan arah gerak struktur

$$F_b = b \dot{\zeta}_3 \quad (2.2)$$

Dimana

b = koefisien redaman

$\dot{\zeta}_3$ = kecepatan ($d \zeta_3 / dt$)

- Gaya pengembali, gaya yang bekerja untuk membawa kapal kembali ke posisi setimbangnya

$$F_c = c \zeta_3 \quad (2.3)$$

Dimana

c = gaya pengembali pegas

ζ_3 = *displacement* pusat gravitasi kapal

- Gaya eksitasi yang bekerja pada kapal adalah

$$F = F_o \cos \omega_e t \quad (2.4)$$

Dimana

F_o = amplitude gaya *encounter*

ω_e = frekuensi gelombang *encounter*

Sehingga jika komponen tersebut digabungkan, didapat persamaan gerak untuk gerakan *heave* adalah

$$a\ddot{\zeta}_3 + b\dot{\zeta}_3 + c\zeta_3 = F_o \cos\omega_e t \quad (2.5)$$

Dimana :

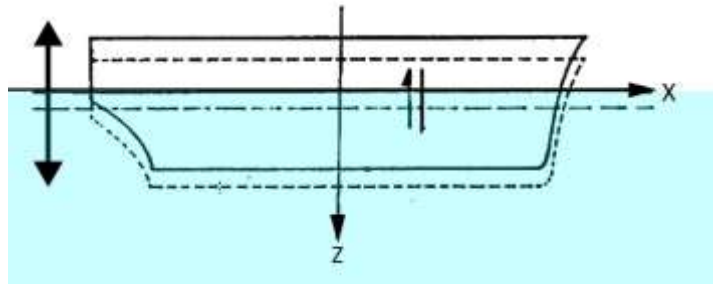
$a\ddot{\zeta}_3$ = *Inertial force* (N)

$b\dot{\zeta}_3$ = *Damping force* (N)

$c\zeta_3$ = *Restoring force* (N)

F_{0z} = *Amplitude heave exciting force* (N)

Ketika diketahui $F_o = 0$ dan $b = 0$ maka gerak tersebut termasuk gerakan osilasi bebas tidak teredam. Jika diketahui $F_o = 0$ maka gerak tersebut termasuk gerakan osilasi bebas yang teredam. Sedangkan, ketika semua benda bekerja, gerak ini termasuk *forced damping heave motion*.



Gambar 2.3. Ilustrasi gerakan *heave*

2.2.4. Gerakan Pitch

Sebuah kapal akan mengalami gerakan harmonis sepanjang sumbu-x atau sumbu-y jika diberikan kecepatan menjauhi titik setimbangnya. Momen sangat

diperhatikan ketika membicarakan masalah gerak rotasi seperti *pitching*. Ilustrasi gerak rotasi *pitching* dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Seperti pada gerak *heave*, 4 momen berikut pada gerak *pitch*:

- *Inertial moment*
- *Damping moment*
- *Restoring moment*
- *Exciting moment*

Persamaan gerak *pitching* dapat ditulis sebagai berikut:

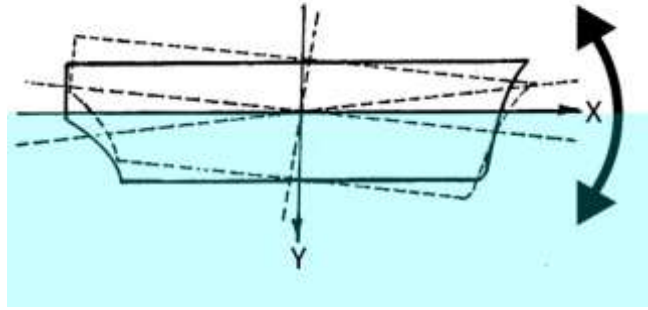
$$a_z \frac{d^2 \zeta_5}{dt^2} + b \frac{d\zeta_5}{dt} + c\zeta_5 = M_o \cos \omega_e t \quad (2.6)$$

Dimana:

- Momen inersia = $(a \frac{d^2 \zeta_5}{dt^2})$
 a_z = massa virtual dari momen inersia
 $\frac{d^2 \zeta_5}{dt^2}$ = percepatan sudut gerak *pitch*
- Momen redam = $(b \frac{d\zeta_5}{dt})$
 b = koefisien redaman
 $\frac{d\zeta_5}{dt}$ = kecepatan sudut
- Gaya pengembali = $(c\zeta_5)$
 c = koefisien pengembali
 ζ_5 = perpindahan sudut *pitch*
- Gaya eksitasi

$$F = M_o \cos \omega_e t \quad (2.7)$$

Gaya eksitasi bergerak naik turun dengan frekuensi *encounter* ω_e



Gambar 2.4. Ilustrasi gerakan *pitch*

2.2.5. Gerakan Bangunan Laut dalam 6 Derajat Kebebasan

Dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka enam persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + K_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t} \quad (2.8)$$

Dengan

M_{jk} = matriks massa dan momen inersia bangunan laut

A_{jk} = Matriks koefisien massa tambah hidrodinamik

B_{jk} = Matriks koefisien redaman hidrodinamik

K_{jk} = Matriks koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatik

F_j = Matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (F_4, F_5, F_6)

F_1 = Amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *surge*

F_2 = Amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *sway*

F_3 = Amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *heave*

F_4 = Amplitudo momen eksitasi untuk *roll*

F_5 = Amplitudo momen eksitasi untuk *pitch*

F_6 = Amplitudo momen eksitasi untuk *yaw*

ζ_k = Elevasi gerakan pada mode ke k

$\dot{\zeta}_k$ = Elevasi kecepatan gerak pada mode ke k

$\ddot{\zeta}_k$ = Elevasi percepatan gerak pada mode ke k

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa suku di ruas kanan merupakan gaya eksitasi dan suku di ruas kiri merupakan reaksi yang terdiri dari gaya inersia, gaya redaman, dan gaya pengembali. Dari persamaan gerak ini didapatkan hasil berupa karakteristik gerakan kapal. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, di mana perbandingan gerakan pada mode tertentu ζ_j dengan parameter tinggi (atau amplitudo gelombang, ζ_a) diberikan sebagai fungsi frekuensi encounter ω_e dari sumber eksitasi. Informasi gerakan yang demikian ini dinamakan *Response Amplitudo Operator* (RAO).

2.2.6. Gerakan *Couple Heave dan Pitch*

Bhattacharyya (1972) menyebutkan bahwa *strip theory* dapat digunakan untuk memprediksi gerakan *heave* dan *pitch*. Untuk menggunakan *strip theory*, terlebih dahulu diturunkan dua persamaan masing – masing untuk *heave* dan *pitch*. Persamaan yang diturunkan ini berasal dari hukum kedua Newton, dimana menurut Newton jumlah gaya yang bekerja pada benda (*strip*) sama dengan perkalian antara massa dengan percepatannya.

Maka untuk persamaan untuk *heave* adalah

$$m.\ddot{\zeta}_3 = \Sigma F_3 \quad (2.9)$$

Dan persamaan untuk *pitch* adalah

$$I.\ddot{\zeta}_5 = \Sigma F_5 \quad (2.10)$$

Dimana:

ΣF_3 = Total gaya *heave* yang bekerja pada kapal akibat gerak relatif terhadap gelombang

ΣF_5 = Total momen *pitch* yang bekerja pada kapal akibat gerak relatif terhadap gelombang

$\ddot{\zeta}_3$ = Percepatan *heave*

$\ddot{\zeta}_5$ = Percepatan *pitch*

Ketika sebuah kapal berada di air tenang, gaya apung kapal tersebut akan sama dengan berat kapal tersebut. Namun ketika diberi gaya ke arah bawah menjauh dari titik setimbangnya, daya apung *strip* akan menjadi lebih besar daripada berat strukturnya yang menyebabkan percepatan ke atas. Massa tambah akan muncul karena usaha yang diperlukan ketika percepatan tersebut terjadi. Sehingga, resultan gaya menjadi:

$$\Sigma F = (m + a_z)\ddot{\zeta}_3 \quad (2.11)$$

Dimana:

m = massa dari kapal

a_z = massa tambah pada gerakan *heave*

Kecepatan *strip* ketika bergerak ke atas juga menyebabkan gaya lain karena reaksi hidrodinamika. Gaya ini disebut dengan gaya redaman. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut

$$c_z = (m + a_z)\ddot{\zeta}_3 + b\dot{\zeta}_3 \quad (2.12)$$

Kita asumsikan bahwa *displacement* ke arah bawah bernilai positif sedangkan ke arah atas bernilai negatif. Dikarenakan $m = \frac{\Delta}{g}$ maka persamaan (2.12) berubah menjadi

$$c_z = \left(\frac{\Delta}{g} + a_z\right)(-\ddot{\zeta}_3) + b(-\dot{\zeta}_3) \quad (2.13)$$

Atau dapat ditulis sebagai berikut

$$\left(\frac{\Delta}{g} + a_z\right)\ddot{\zeta}_3 + b\dot{\zeta}_3 + c_z = 0 \quad (2.14)$$

Jika diasumsikan bahwa *strip* mendapat gangguan ombak dengan amplitudo ζ_a maka gaya pertama yang bekerja pada *strip* diakibatkan oleh perubahan sarat air. Selanjutnya, perubahan sarat air yang diakibatkan oleh

gangguan yang terus bekerja disebut dengan gaya eksitasi (*exciting force*). Hasil dari gaya ini sama dengan percepatan, kecepatan, dan posisi yang relatif antara *strip* dengan muka air. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$m\ddot{\zeta}_3 + a_z(\ddot{\zeta}_3 - \ddot{\zeta}_w) + b(\dot{\zeta}_3 - \dot{\zeta}_w) + c(\zeta_3 - \zeta_w) = 0 \quad (2.15)$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi

$$(m + a_z)\ddot{\zeta}_3 + b\dot{\zeta}_3 + c\zeta_3 = a_z\ddot{\zeta}_w + b\dot{\zeta}_w + c\zeta_w \quad (2.16)$$

Dimana :

$\ddot{\zeta}_w$ = percepatan vertikal dari permukaan air.

$\dot{\zeta}_w$ = kecepatan vertikal dari permukaan air

ζ_w = posisi vertikal dari permukaan air

Ruas kanan pada persamaan (2.16) adalah gaya eksitasi yang bekerja pada *strip*. Untuk mencari gerak kapal terhadap gelombang terlebih dahulu harus mencari gerak relatif kapal terhadap gelombang. Karena itu posisi relatif sepanjang kapal dapat dicari dengan menggunakan $\zeta_3 - \xi\theta$. Untuk posisi relatif sepanjang kapal terhadap gelombang dapat dicari menggunakan

$$\zeta_r = \zeta_3 - \xi\theta - \zeta_w \quad (2.17)$$

Untuk gerak *pitching* yang sederhana, persamaan di atas dapat diturunkan terhadap waktu untuk mendapatkan kecepatan vertikal relatif

$$w_r = \dot{\zeta}_r = \dot{\zeta}_3 - (\xi\dot{\zeta}_5 + \theta\dot{\xi}) - \dot{\zeta}_w \quad (2.18)$$

Perlu diingat bahwa ketika kapal bergerak ke depan, kapal tersebut akan bergerak dengan kecepatan sebesar u

$$\frac{d\xi}{dt} = \dot{\xi} = -u \quad (2.19)$$

Sehingga percepatan relatifnya adalah

$$\begin{aligned}
\dot{w}_r &= \ddot{\zeta}_3 - \xi \ddot{\zeta}_5 - \dot{\zeta}_5(-u) + u\dot{\zeta}_5 - \ddot{\zeta}_w \\
&= \ddot{\zeta}_3 - \ddot{\zeta}_5 + 2u\dot{\zeta}_5 - \ddot{\zeta}_w
\end{aligned}
\tag{2.20}$$

Karena persamaan gaya dan gerak relatif telah diketahui, maka repons total sepanjang kapal dapat dicari dengan membagi struktur kapal menjadi beberapa bagian transversal (*strips*) sepanjang kapal. Namun pada tiap tiap *strips* persamaan gaya di atas dapat dipengaruhi oleh gaya geser. Nilai gaya geser ($\frac{df_n}{d\xi}$) ketika dihubungkan dengan gerak relatif dapat dituliskan sebagai berikut

$$\frac{\delta f_n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{\zeta}_n - (a_n \dot{w}_r + b_n w_r) - c_n \zeta_{3r}
\tag{2.21}$$

Dimana :

$m_n \ddot{\zeta}_n$ = Gaya inersia yang diperlukan untuk menggerakkan masa strip

$a_n \dot{w}_r$ = Gaya hidrodinamik yang diperlukan untuk menggerakkan masa tambah

$b_n w_r$ = Gaya redaman hidrodinamis akibat kecepatan relatif

$c_n \zeta_r$ = Gaya hidrostatik akibat perubahan posisi relatif

Dikarenakan koefisien a_n , b_n , dan c_n harus ditentukan untuk tiap – tiap bagian, dikarenakan koefisien tersebut merupakan fungsi terhadap bentuk badan kapal. Nilai a_n berubah terhadap tiap bagian dan juga waktu. Maka turunan $\frac{d(a_n w_r)}{dt}$ harus diperhatikan, tidak hanya memperhatikan $a_n w_r$ saja, sehingga :

$$\begin{aligned}
\frac{d(a_n w_r)}{dt} &= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \frac{dw_r}{dt} \\
&= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \dot{w}_r
\end{aligned}
\tag{2.22}$$

Dengan melakukan substitusi persamaan (2.22) dengan persamaan (2.21), maka didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$\frac{\delta f_n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{\zeta}_n - a_n \dot{w}_r - (b_n + \frac{da_n}{dt}) w_r - c_n \zeta_r
\tag{2.23}$$

Sekarang nilai gaya *strip* sepanjang kapal dapat dicari dengan mengintegrasikan $\frac{\delta f n}{\delta t}$ terhadap x , sehingga:

$$\int \frac{\delta f n}{\delta \xi} dx = 0 \quad (2.24)$$

Disini harus diingat bahwa *horizontal displacement* dirumuskan sebagai berikut

$$x = \xi + ut \quad (2.25)$$

Dimana :

ut = displacement antara sumbu utama dengan titik pangkal benda untuk waktu tertentu

ξ = jarak dari origin kapal ke titik dari persamaan yang ditinjau

Pada waktu tertentu ut akan menjadi konstan sehingga

$$dx = d\xi + d(ut) = d\xi \quad (2.26)$$

Sehingga, penjumlahan gaya menjadi :

$$\int \frac{dfn}{d\xi} d\xi = 0 \quad (2.27)$$

Atau dengan melakukan integral pada persamaan $\frac{\delta f n}{\delta t}$ menjadi :

$$-\int \frac{\delta f n}{\delta \xi} d\xi = \int m_n \ddot{\zeta}_n d\xi + \int a_n \dot{w}_r d\xi + \left(\int b_n w_r d\xi - u \int \frac{da_n}{dt} w_r d\xi \right) + \int c_n \zeta_n d\xi \quad (2.28)$$

Dimana:

$$\ddot{\zeta}_n = \ddot{\zeta}_3 - \xi \ddot{\zeta}_5 \quad (2.29)$$

Tekanan hidrostatik di bawah puncak gelombang akan berkurang dikarenakan efek tekanan. Karena itu, persamaan posisi vertikal relatifnya menjadi

$$\zeta_r = \zeta - \xi\theta - \xi e^{-kz} \quad (2.30)$$

Dimana :

e^{-kz} = Faktor penurunan tekanan

Sehingga didapatkan persamaan kecepatan relatifnya adalah

$$w_r = \frac{d\zeta_r}{dt} = \dot{\zeta} - \xi\dot{\zeta}_5 + u\zeta_5 - \dot{\zeta}_w e^{-kz} \quad (2.31)$$

Dan untuk percepatan relatif

$$\dot{w}_r = \frac{dw_r}{dt} = \ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5 + 2u\dot{\theta} - \ddot{\zeta}_w e^{-kz} \quad (2.32)$$

Untuk penyederhanaan, kita kelompokkan suku – suku yang berhubungan dengan gerak kapal ($\ddot{\zeta}_3, \dot{\zeta}_3, \zeta, \ddot{\zeta}_5, \dot{\zeta}_5, \zeta_5$) dan yang berhubungan dengan gerak gelombang ($\ddot{\zeta}_w, \dot{\zeta}_w, \zeta_w$). Kita letakkan suk

u – suku yang berhubungan dengan gerak kapal pada sisi kiri persamaan sebagai respon natural kapal pada *displacement* di air tenang. Pada sisi kanan persamaan kita letakkan suku – suku yang berhubungan dengan gerak gelombang yang disebut dengan *forcing function*. Substitusi $z_r, w_r, \dot{w}_r, \ddot{z}_n$ dari persamaan (2.30), (2.31), (2.32), (2.29) sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} & \int m_n(\ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5) d\xi + \int a_n(\ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5 + 2u\dot{\theta} - \xi e^{-kz}) d\xi \\ & + \left(\int b_n(\dot{\zeta}_3 - \xi\dot{\zeta}_5 + u\zeta_5 - \xi e^{-kz}) d\xi \right) \\ & - \left(\int \frac{dq}{d\xi}(\dot{\zeta}_3 - \xi\dot{\zeta}_5 + u\zeta_5 - \xi e^{-kz}) + \int c_n(\zeta_3 - \xi\zeta_5 \right. \\ & \left. - \xi e^{-kz}) d\xi = 0 \end{aligned} \quad (2.33)$$

Dilakukan penyusunan kembali dengan mengelompokkan persamaan sisi kiri dan sisi kanan sehingga menghasilkan

$$\begin{aligned}
m_n(\ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5) + a_n(\ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5 + 2u\dot{\theta}) + \frac{dq}{d\xi}(\dot{\zeta}_3 - \xi\dot{\zeta}_5 + u\dot{\zeta}_5) + c_n(z - \xi\zeta_5) \\
= \ddot{\xi}^{-kz}a_n - \xi e^{-kz}b_n - u\frac{da_n}{d\xi}\xi e^{-kz} + \xi e^{-kz}c_n
\end{aligned} \tag{2.34}$$

Ruas kanan pada persamaan (2.34) melambangkan *exciting force* pada tiap *strip* yang diakibatkan oleh gelombang dF/dx . Jika diasumsikan bahwa gelombang reguler dan harmonic maka ζ dapat ditulis sebagai berikut

$$\zeta = \zeta_a \sin k(x - V_w t) \tag{2.35}$$

Kombinasikan persamaan (2.35) dengan persamaan (2.25) untuk mendapatkan besaran amplitudo sebagai

$$\zeta = \zeta_a \sin k[\xi + (u - v_w)t] \tag{2.36}$$

Karena $-k(u - v_w) = \omega_e$ dan ω_e merupakan frekuensi *encounter*, maka kecepatan dan percepatan elevasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\zeta = \zeta_a \sin(k\xi - \omega_e t) \tag{2.37}$$

$$\dot{\zeta} = -\zeta_a \omega_e \cos(k\xi - \omega_e t) \tag{2.38}$$

$$\ddot{\zeta} = -\zeta_a \omega_e^2 \sin(k\xi - \omega_e t) \tag{2.39}$$

Substitusi $\ddot{\zeta}_w, \dot{\zeta}_w, \zeta_w$ ke dalam persamaan (2.34) sehingga didapatkan persamaan dasar gerakan kopel *pitch* dan *heave*

$$(m + a_z)\ddot{\zeta}_3 + b\dot{\zeta}_3 + c\zeta_3 + d\ddot{\zeta}_5 + e\dot{\zeta}_5 + h\zeta_5 = F(t) \tag{2.40}$$

Dimana:

$$m = \int m_n d\xi$$

$$a_z = \int a_n d\xi$$

$$b = \int b_n d\xi$$

2.2.7. Response Amplitude Operator (RAO)

Pada saat merancang suatu struktur terapung, salah satu informasi penting yang digunakan adalah informasi tentang karakteristik gerakan struktur terapung itu sendiri. Informasi ini umumnya disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya merupakan parameter frekuensi sedangkan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan ζ_{k0} dan amplitudo gelombang ζ_0 .

Response Amplitude Operator (RAO) merupakan alat untuk mentransfer beban luar dalam hal ini gelombang dalam rentang frekuensi menjadi bentuk respon yang diterima pada suatu struktur. Sehingga umumnya RAO juga dikenal sebagai *transfer function* (Chakrabarti, 1987). Selain itu RAO juga bisa diartikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang ($\zeta_{\text{respon}}/\zeta_{\text{gelombang}}$). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran.

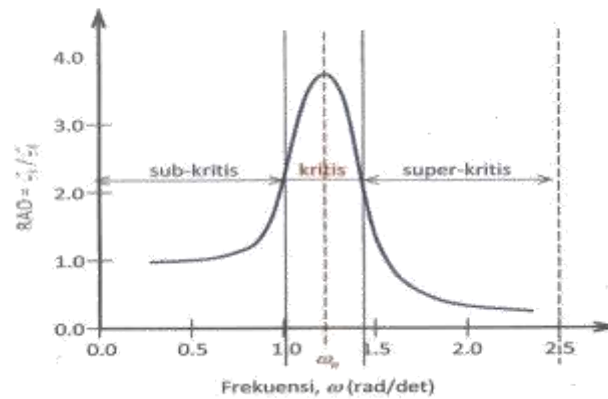
Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan struktur dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan elevasi panjang) (Djarmiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \left(\frac{\text{Amplitudo Respon Gerakan}}{\text{Amplitudo Gelombang}} \right) = \left(\frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \right) (m/m) \quad (2.41)$$

Sedangkan untuk respons gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang ($k_w = \omega^2/g$) dengan amplitudo gelombang insiden (Djarmiko, 2012):

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}}{K_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g) \zeta_0} \left(\text{rad/rad} \right) \quad (2.42)$$

Bentuk umum grafik response gerakan bangunan apung diberikan pada gambar di bawah ini



Gambar 2.5. Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung
(sumber: Djatmiko, 2012)

Mengacu pada Gambar 2.5, kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dibagi menjadi tiga bagian

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau ω^2 kurang dari $k/(m+a)$, gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva

berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.

- Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu, gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana ω^2 kurang dari k/a , gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko, 2012).

2.2.8. Spektrum Gelombang

Sebuah gelombang regular memuat energi, yang diidentifikasi pada setiap satuan luas permukaannya sebagai kuadrat amplitudonya. Dengan berdasarkan pernyataan tersebut, maka dapat diambil kesimpulan bahwa total energi pada gelombang acak adalah ekuivalen dengan total energi dari semua komponen gelombang regulernya. Adapun energi yang dikontribusikan oleh komponen gelombang regular ke- n adalah

$$E_n = \frac{1}{2} \rho g \zeta_{n0}^2 \quad (2.43)$$

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang regular per satuan luas permukaan (1.0 m^2) dapat diekspresikan sebagai kepadatan spektrum gelombang (Djarmiko, 2012). Dari spectrum gelombang dapat diketahui parameter – parameter gelombang seperti pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Amplitudo dan Tinggi Gelombang Pada Spektrum
(sumber: Chakrabarti, 1978)

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata – rata	$1.25\sqrt{m_0}$	$2.5\sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2.00\sqrt{m_0}$	$4.00\sqrt{m_0}$
Rata – rata 1/10 gelombang	$2.55\sqrt{m_0}$	$5.00\sqrt{m_0}$
Rata – rata 1/1000 gelombang	$3.44\sqrt{m_0}$	$6.67\sqrt{m_0}$

Dimana

$$m_0 = \text{Luasan di bawah kurva spektrum} = \int_0^\infty S(\omega) d\omega$$

Dalam pemilihan spektrum gelombang untuk dipergunakan dalam analisa lebih lanjut, harus didasarkan pada kondisi nyata laut yang ditinjau. Bila tidak ada maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan.

Untuk perairan Indonesia yang notabene merupakan perairan tertutup, spektrum yang cocok digunakan adalah spektrum JONSWAP. JONSWAP merupakan singkatan dari *Joint North Sea Wave Project* yaitu proyek gabungan yang dilakukan untuk meneliti gelombang di perairan laut utara. Persamaan spektrum JONSWAP sebagai berikut

$$S_\zeta(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-1,25 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-4}\right) \gamma^{\exp\left(\left(-\frac{\omega-\omega_0}{2\tau\omega_0}\right)^2\right)} \quad (2.44)$$

Dimana

$$\alpha = 0.076(X_0)^{-0.22}$$

$$X_0 = gX/U_w^2$$

X = Panjang fetch

U_w = Kecepatan angin

$\alpha = 0.0081$ jika X tidak diketahui

γ = Parameter ketinggian

τ = Parameter bentuk

$\tau = 0.07$ untuk $\omega \leq \omega_0$

$\tau = 0.09$ untuk $\omega \geq \omega_0$

Untuk wilayah perairan Indonesia yang tidak sekeras laut utara, digunakan nilai parameter ketinggian antara 2.0 sampai 2.5 agar tidak menimbulkan *overdesign*.

2.2.9. Spektra Respons

Spektra respon bangunan apung adalah distribusi energi respon gerakan bangunan apung di gelombang acak. Spektra respon ini diperoleh dari hasil perkalian antara spektra gelombang dengan RAO kuadrat. RAO merupakan respon bangunan pada gelombang regular sehingga RAO bernilai linear sedangkan spektra gelombang merupakan parameter non linear sehingga keduanya tidak dapat dikalikan secara langsung. Untuk mengubah RAO menjadi parameter non linear maka RAO harus dikuadratkan sehingga nantinya setara dengan spektra gelombang dan dapat dikalikan. Spektra respon dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini

$$S_R = (RAO_{(\omega)})^2 \times S_{(\omega)} \quad (2.45)$$

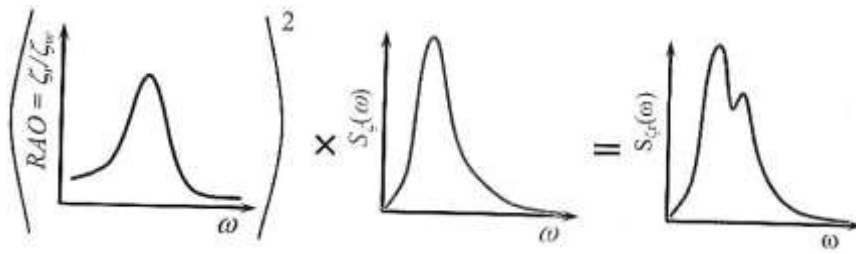
Dengan :

S_R = Respon spektra struktur (m^2 -sec)

$S_{(\omega)}$ = Spektrum gelombang (m^2 -sec)

$(RAO_{(\omega)})^2 = Transfer\ function$

ω = Frekuensi gelombang (rad/sec)



Gambar 2.6. Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respons
(Sumber: Djatmiko, 2012)

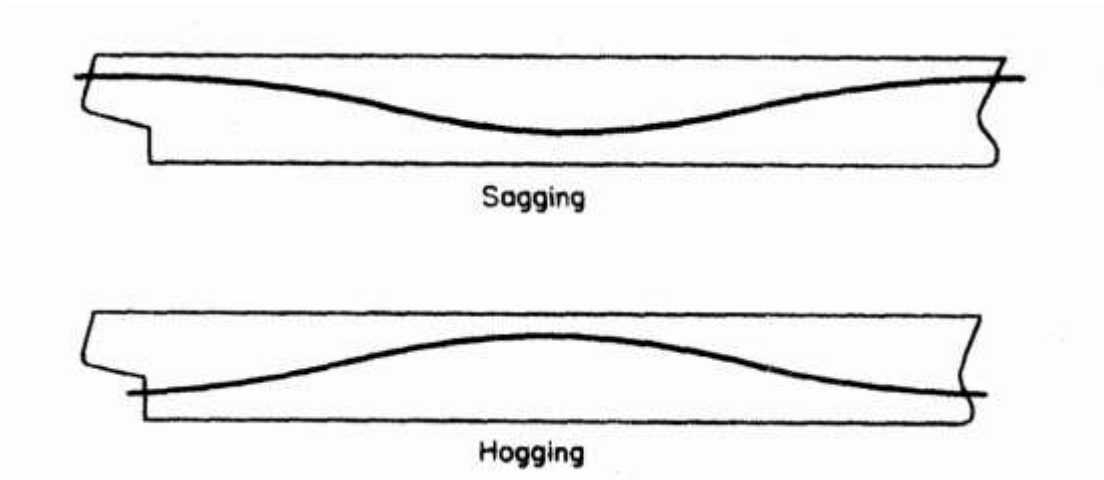
Gambar 2.6 merupakan hasil transformasi grafik spektra gelombang dengan grafik $(RAO)^2$ menjadi grafik spektra respon.

2.2.10. Kekuatan Memanjang Struktur Kapal

Ketika kapal berlayar di laut lepas, keadaan lingkungan akan menjadi suatu hambatan yang akan menguji kekuatan struktur kapal tersebut. Mulai dari kerasnya ombak yang akan menabrak kapal yang akan membuat struktur kapal bergerak liar. Suatu saat haluan kapal akan terangkat ke atas sebelum kemudian dihempaskan hingga terbenam oleh permukaan air.

Jika kita mengabaikan efek inersia, maka beban yang bekerja pada kapal hanya berasal dari dua jenis saja yaitu gravitasi dan tekanan air. Kondisi ideal dimana gravitasi dan tekanan air akan saling menghilangkan merupakan suatu kondisi yang mustahil ditemui. Bahkan ketika berada di air tenang, gravitasi dan tekanan air akan mempunyai nilai yang berbeda dan perbedaannya akan semakin besar pada perairan yang tidak tenang. Hal ini akan menyebabkan perbedaan beban sepanjang badan kapal yang membuat badan kapal menjadi melengkung. Jika hal ini terus terjadi berulang – ulang maka akan menimbulkan kegagalan pada struktur kapal.

Untuk mencegah hal ini, perlu diperhatikan kondisi dimana puncak gelombang ada di bagian tengah kapal atau disebut juga kondisi *hogging* dan yang kedua ketika puncak gelombang ada di bagian ujung kapal atau kondisi *sagging* seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Kondisi *hogging* dan *sagging*

Pada kondisi ini seluruh bagian dari kapal akan mendapatkan beban yang berasal dari gaya eksternal yang bekerja pada struktur kapal. Gaya eksternal ini tersusun dari tekanan fluida, gravitasi, dan inersia akibat gerakan elastis dan kaku dari struktur kapal. Integrasi dari total gaya eksternal yang bekerja sepanjang struktur kapal akan menghasilkan nilai *shear force*, sedangkan integrasi dari *shear force* akan menghasilkan *bending moment*.

2.2.11. Respons Struktur Bangunan Laut Berlambung Tunggal

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Selvensen dkk (1970), respons struktur berlambung tunggal dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu komponen vektor gaya – gaya geser \mathbf{V} dan komponen vektor momen dan torsi \mathbf{M} sesuai dengan sistem sumbunya.

Komponen vektor gaya geser pada tiap potongan melintang lambung kapal dapat dituliskan sebagai berikut

$$\mathbf{V} = V_1\mathbf{i} + V_2\mathbf{j} + V_3\mathbf{k} \quad (2.46)$$

Dimana:

V_1 = Gaya kompresi

V_2 = Gaya geser horisontal

V_3 = Gaya geser vertikal

Sedangkan vektor momen dan torsi pada sumbu yang sama dapat dituliskan sebagai berikut

$$\mathbf{M} = M_4 \mathbf{i} + M_5 \mathbf{j} + M_6 \mathbf{k} \quad (2.47)$$

Dimana:

M_4 = Momen torsi

M_5 = Momen lengkung vertikal

M_6 = Gaya geser horisontal

Gaya geser dinamis adalah perbedaan antara gaya inersia dan penjumlahan gaya – gaya eksternal yang bekerja pada bagian lambung. Bila gaya eksternal dibagi menjadi gaya pengembali statis R_j , gaya eksitasi E_j , dan gaya hidrodinamis akibat gerakan kapal D_j , serta gaya inersia I_j , maka akan didapatkan

$$V_j = I_j - R_j - E_j - D_j ; j = 2, 3 \quad (2.48)$$

Persamaan (2.49) akan berlaku juga untuk momen – momen torsi dan lengkung

$$M_j = I_j - R_j - E_j - D_j ; j = 4, 5, 6 \quad (2.49)$$

Gaya kompresi ($j = 1$) dianggap kecil jika dibandingkan dengan kekuatan integritas struktur secara memanjang, sehingga bisa tidak diperhitungkan. Hasil komputasi respons struktur akibat eksitasi beban gelombang dapat disajikan dalam bentuk RAO gaya geser atau momen. Ukuran intensitas struktur diberikan dalam bentuk non – dimensi untuk memudahkan pemakaian hasil untuk kapal dengan ukuran yang berbeda. Maka didapatkan bentuk non – dimensi gaya geser didefinisikan sebagai

$$V'_j = \frac{\zeta_{VJ} \times L}{\zeta_0 g \Delta} \quad (2.50)$$

Lalu bentuk non – dimensi untuk momen adalah

$$M'_j = \frac{\zeta_{MJ}}{\zeta_0 g \Delta} \quad (2.51)$$

Kapal pada umumnya akan menerima beban yang relatif kritis pada kondisi di mana panjang gelombang λ_w mempunyai harga yang mendekati atau sama dengan L_{pp} . Dari hal ini kemudian mudah dipahami bila fluktuasi respons struktur lebih berkorelasi dengan, atau merupakan fungsi dari, perubahan panjang gelombang (Djarmiko, 2012).

2.2.12. Perhitungan Respons Struktur dengan Metode Quasi-Statis

Perhitungan dengan metode quasi-statis adalah perhitungan dengan pendekatan statis terhadap perilaku dinamis benda apung. Maksudnya adalah perubahan pada bangunan laut tersebut terjadi sangat lambat sehingga respons objek terhadap beban eksternal dianggap statis.

Dalam tugas akhir ini gerak kapal survei seismic Geomarin IV ditinjau pada tiap – tiap siklus gelombang yang terjadi. Untuk perhitungan respons struktur dengan metode quasi-statis, perhitungan dilakukan pada saat kapal bergerak kopel *heave-pitch* dengan tinggi gelombang unity (amplitudo = 1m). Hal ini dimaksudkan untuk menjaga agar kemiringan kapal tidak terlalu besar, sehingga dapat mengakibatkan nilai *shear force* dan *bending moment* yang jauh lebih besar dari kondisi sebenarnya pada saat kapal ini beroperasi. Dimana kapal survei seismic ini beroperasi di kondisi perairan tertutup seperti Indonesia yang mempunyai tinggi gelombang yang tidak terlalu besar.

Pada perhitungan dengan menggunakan metode quasi-statis ini, hasil frekuensi gelombang respons gerak kapal dalam dua mode gerakan yakni *heave*

dan *pitch* diambil untuk divariasi periodenya yang selanjutnya digunakan untuk analisis respons struktur kapal

2.2.13. Analisa Stiffened Panel Buckling

Ketika ada sebuah panel yang diberi penguat (*stiffener*) dan menerima beban aksial secara berulang, panel tersebut akan mengalami kegagalan dengan bentuk *buckling* ketika beban aksial yang diterimanya mencapai titik *yield*. Kejadian yang sama akan terjadi ketika panel yang sama menerima beban lateral.

Perry-Robertson menyatakan bahwa kejadian *buckling* dapat dianalisa dengan mengkalkulasikan kekuatan puncak dari sebuah *stiffened panel*. Persamaan untuk mengkalkulasikan sebuah panel yang menerima beban aksial, R , dan beban lateral, p , dapat diperoleh dari persamaan (2.56) berikut

$$M = M_p + R_u \quad (2.56)$$

Dimana:

M_p = *bending moment* akibat beban lateral p

u = defleksi lateral

Defleksi lateral dan *bending moment* yang diakibatkan oleh beban aksial, R , dan beban lateral, p , diberikan sebagai berikut

$$u = \frac{p}{Rk^2} \left\{ 1 - \frac{\cos[k(L/2 - x)]}{\cos(kL/2)} \right\} + \frac{p}{2R} x(L - x) \quad (2.57)$$

$$M = \frac{p}{Rk^2} \left\{ 1 - \frac{\cos[k(L/2 - x)]}{\cos(kL/2)} \right\} \quad (2.58)$$

Dimana:

x = panjang suatu objek

$k = \sqrt{(R/EI_e)}$

E = modulus elastisitas

I_e = momen inersia efektif suatu *beam*

Karena defleksi lateral dan *bending moment* yang maksimum terjadi di bagian tengah suatu penampang atau $x = L/2$, maka persamaan (2.57) dan (2.58) menjadi.

$$u_{max} = C_1 u_{p\ max} \quad (2.59)$$

$$M_{max} = C_2 M_{p\ max} \quad (2.60)$$

Dimana:

$$C_1 = \frac{384}{5k^4 L^4} \left[\sec\left(\frac{kL}{2}\right) - 1 - \frac{k^2 L^2}{8} \right]$$

$$C_2 = \frac{8}{k^2 L^2} \left[1 - \sec\left(\frac{kL}{2}\right) \right]$$

$$u_{p\ max} = \frac{5qL^4}{384EI_e}$$

$$M_{p\ max} = \frac{qL^2}{8}$$

2.2.14. Analisa *Longitudinal Buckling*

Analisa *longitudinal buckling* pada kapal sangat diperlukan untuk memastikan bahwa struktur kapal mampu menahan beban lateral yang diterimanya. Untuk itu BKI mensyaratkan untuk *longitudinal buckling* seperti di bawah ini.

$$\frac{\sigma_a + \sigma_b}{R_{eH}} S \leq 1 \quad (2.61)$$

Dimana

σ_a = Tegangan merata sepanjang sumbu penguat

= σ_x Untuk penguat memanjang

= σ_y Untuk penguat melintang

σ_b = *Bending stress* pada penguat

$$= \frac{M_0 + M_1}{W_{st} \cdot 10^3}$$

M_0 = *Bending moment* yang diakibatkan oleh deformasi penguat sebesar w

$$= F_{Ki} \frac{p_z \cdot w}{c_f - p_z}$$

M_1 = *Bending moment* yang diakibatkan oleh beban lateral sebesar p pada penguat memanjang

$$= \frac{p \cdot b \cdot a^2}{24 \cdot 10^3}$$

Penguat melintang

$$= \frac{p \cdot a (n \cdot b)^2}{c_s \cdot 8 \cdot 10^3}$$

p = Beban lateral [kN/m²]

F_{Ki} = Gaya *buckling* ideal yang bekerja pada penguat

$$F_{Kix} = \frac{\pi^2}{a^2} E \cdot I_x \cdot 10^4 \text{ untuk penguat memanjang}$$

$$F_{Kiy} = \frac{\pi^2}{(n \cdot b)^2} E \cdot I_y \cdot 10^4 \text{ untuk penguat melintang}$$

I_x, I_y = Moment inersia pada penguat memanjang dan melintang

$$I_x \geq \frac{b \cdot t^3}{12 \cdot 10^4}$$

$$I_y \geq \frac{a \cdot t^3}{12 \cdot 10^4}$$

p_z = Beban lateral pada penguat akibat σ_x, σ_y , dan τ [N/mm²]

untuk penguat memanjang

$$p_{zx} = \frac{t_a}{b} \left(\sigma_{xl} \left(\frac{\pi \cdot b}{a} \right)^2 + 2 \cdot c_y \cdot \sigma_y + \sqrt{2} \tau_1 \right)$$

untuk penguat melintang

$$p_{zy} = \frac{t_a}{a} \left(2 \cdot c_x \cdot \sigma_{xl} + \sigma_y \left(\frac{\pi \cdot a}{n \cdot b} \right)^2 \left(1 + \frac{A_y}{a \cdot t_a} \right) + \sqrt{2} \tau_1 \right)$$

$$\sigma_{xl} = \sigma_x \left(1 + \frac{A_x}{b \cdot t_a} \right)$$

c_x, c_y = faktor tegangan vertikal pada sumbu penguat dan didistribusikan sepanjang penguat

$$= 0.5(1 + \psi) \quad \text{Untuk } 0 \leq \psi \leq 1$$

$$= \frac{0.5}{1 - \psi} \quad \text{Untuk } \psi \leq 0$$

ψ = rasio *edge stress*

A_x, A_y = Luas penguat memanjang dan melintang

$$\tau_1 = \left[\tau - t \sqrt{R_{eH} \cdot E \left(\frac{m_1}{a^2} + \frac{m_2}{b^2} \right)} \right] \geq 0$$

Untuk penguat memanjang

$$\frac{a}{b} \geq 2.0 : \quad m_1 = 1.47 \quad m_2 = 0.49$$

$$\frac{a}{b} < 2.0 : \quad m_1 = 1.96 \quad m_2 = 0.37$$

Untuk penguat melintang

$$\frac{a}{n \cdot b} \geq 0.5 : \quad m_1 = 0.37 \quad m_2 = \frac{1.96}{n^2}$$

$$\frac{a}{n \cdot b} < 0.5 : \quad m_1 = 0.49 \quad m_2 = \frac{1.47}{n^2}$$

2.2.15. *Ultimate Strength* pada Plat Akibat *Shearing Force* dan *Bending Moment*

Konstruksi kapal sejatinya tak pernah lepas dari gabungan beberapa plat yang membentuk satu kesatuan. Plat sangat rentan akan pengaruh kombinasi dari *shear force* dan *bending moment*. Untuk plat yang mempunyai bentuk yang ramping, *ultimate strength* pada plat tersebut sangat mudah diakibatkan oleh beban *buckling*. Hubungan antara kombinasi *shear force* dan *bending moment* yang mengakibatkan *ultimate strength* pada sebuah plat dirumuskan sebagai berikut

$$\left(\frac{M}{M_u} \right)^4 + \left(\frac{V}{V_u} \right)^4 = 1 \quad (2.57)$$

Dimana:

$V_u = \text{ultimate shear force}$

$M_u = \text{ultimate bending moment}$

Dengan meningkatnya tinggi gelombang signifikan (Hs), respons struktur dari *shear force* dan *bending moment* akan diperoleh melalui komputasi. Tegangan pada *elements* akan didapatkan dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM). Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan tegangan pada FEM adalah

$$\{\sigma\} = [K]\{\delta\} \quad (2.58)$$

Analisis *ultimate strength* didapatkan dengan mengaplikasikan kekuatan batas pada komponen material. Struktur kapal survei seismik akan mengalami kegagalan jika batas kekuatan materialnya terlampaui. Hal ini direpresentasikan dengan menggunakan persamaan di bawah ini

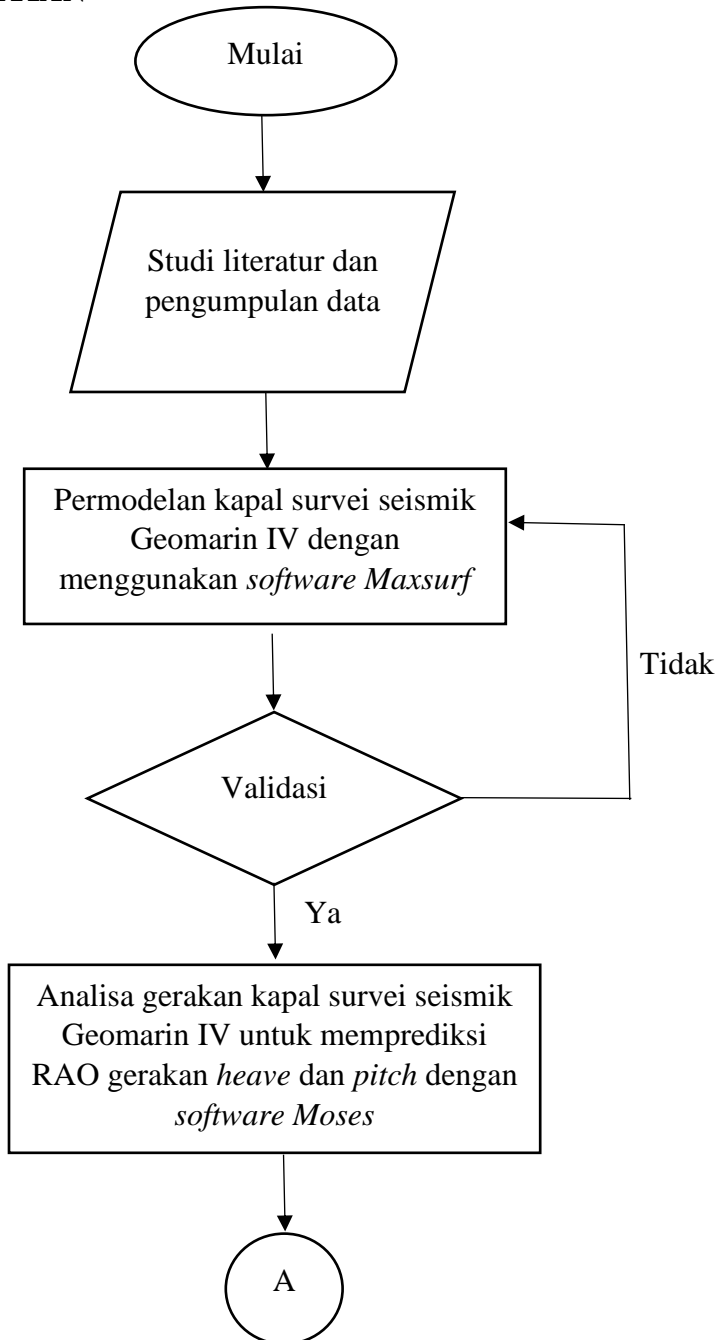
$$\left(\frac{f_L}{f_{UL}}\right)^2 + \left(\frac{f_{LT}}{f_{UL}}\right)^2 \leq Sm \quad (2.59)$$

$$\left(\frac{f_T}{f_{UL}}\right)^2 + \left(\frac{f_{LT}}{f_{UL}}\right)^2 \leq Sm \quad (2.60)$$

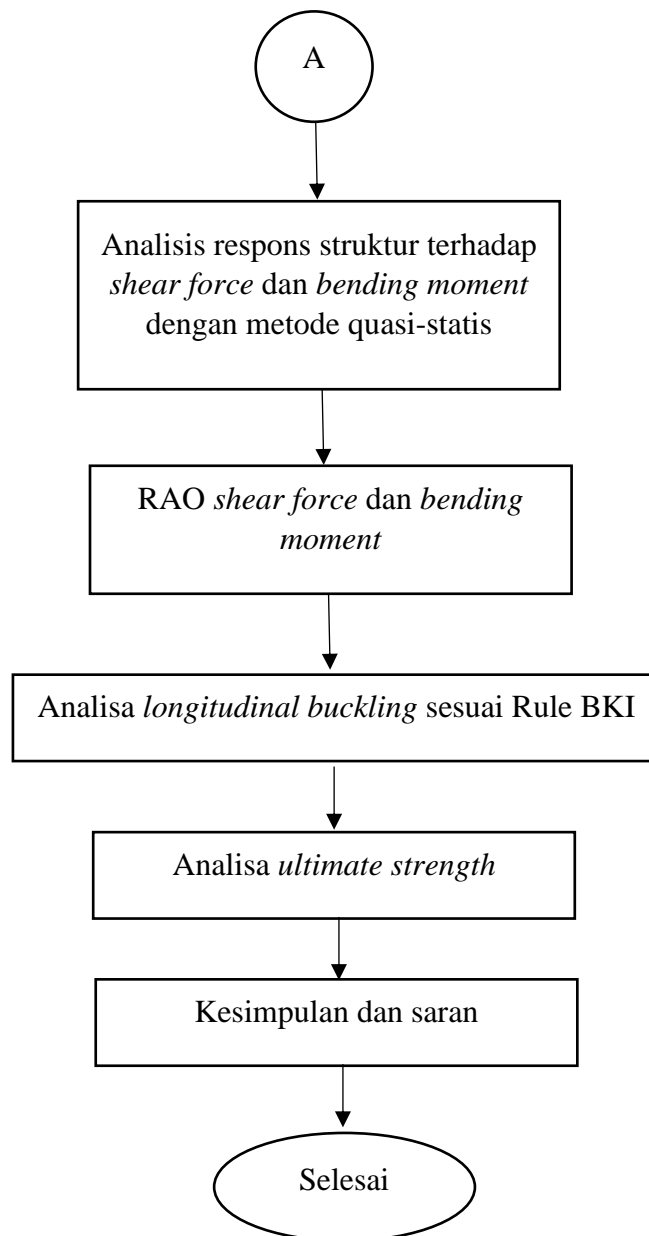
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. ALUR PENELITIAN



Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

3.2. PROSEDUR PENELITIAN

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, ada beberapa tahapan yang harus dilalui. Tahapan tersebut merupakan langkah – langkah penelitian yang harus dilakukan untuk menyelesaikan pengerjaan tugas akhir ini. Berdasarkan Gambar 3.1 tahapan – tahapan tersebut adalah:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk mencari sumber – sumber yang relevan dengan topik tugas akhir. Sehingga sumber – sumber ini dapat digunakan sebagai penunjang dalam pengerjaan tugas akhir. Sumber yang dapat digunakan bisa berasal dari buku, materi perkuliahan, jurnal, penelitian terdahulu, serta *codes* yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, pasti dibutuhkan data – data untuk mendapatkan penyelesaian yang baik. Untuk itu data – data yang dibutuhkan adalah: *general arrangement* kapal survei seismik Geomarin IV, data lingkungan dengan *seastate* terbesar di Indonesia, dan detail data teknis perancangan yang diperoleh dari PT. Citra Mas.

3. Permodelan Kapal Survei Seismik Geomarin IV

Permodelan pada kapal survei seismik Geomarin IV dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf* dengan parameter *principal dimension* yang meliputi: panjang keseluruhan, lebar, displasemen, tinggi, sarat air yang diinginkan, dan sebagainya. Kemudian hasil permodelan akan divalidasi, jika deviasi tidak melebihi 5% maka model dinyatakan valid.

4. Analisa Gerakan Kapal Survei Seismik Geomarin IV

Dari permodelan kapal yang telah divalidasi, selanjutnya akan dilakukan analisa dinamis pada kapal. Analisa akan dilakukan dengan menggunakan *software MOSES* dengan tujuan untuk mendapatkan RAO.

5. Analisis Respons Struktur Terhadap *Shear Force* dan *Bending Moment* dengan Pendekatan Quasi-Statik

Sebelum dapat melakukan perhitungan *shear force* dan *bending moment* sepanjang badan kapal, terlebih dahulu harus dilakukan distribusi beban pada tiap – tiap bagian kapal. Dari gambar bonjean, nilai *buoyancy* pada tiap *station* akan didapatkan. Lalu dari integral selisih distribusi berat dan *buoyancy* akan didapatkan *shear force* sepanjang badan kapal. Dari integral nilai *shear force* tersebut akan didapatkan nilai *bending moment* sepanjang badan kapal. Selanjutnya, sebelum melakukan analisa respons struktur dengan pendekatan quasi-statis, terlebih dahulu dilakukan langkah – langkah di bawah ini.

- Menentukan frekuensi dan periode tertentu yang akan dianalisa.
- Menentukan frekuensi yang ditinjau sehingga didapatkan nilai RAO *heave*, sudut fase *heave*, RAO *pitch*, dan sudut fase *pitch* pada frekuensi tertentu.
- Membagi periode yang didapatkan dari frekuensi yang ditinjau menjadi sepuluh variasi periode.
- Dari data – data tersebut akan didapatkan pergerakan gelombang ($\cos \omega t$), pergerakan *heave* ($\cos(\omega t + \varepsilon z)$) serta pergerakan *pitch* ($\cos(\omega t + \varepsilon q)$) pada tiap variasi periode.
- Dengan adanya pergerakan gelombang, maka pergerakan *heave*, *pitch*, dan *buoyancy* menjadi berbeda – beda.

6. RAO *shear force* dan *bending moment*

Setelah analisa quasi-statis selesai dilakukan, nilai maksimum dari *shear force* dan *bending moment* pada tiap frekuensi yang telah ditinjau akan dikelompokkan. Nilai – nilai maksimum dari *shear force* dan *bending moment* yang telah dikelompokkan tersebut akan membentuk RAO *shear force* dan *bending moment*.

7. Analisa *longitudinal buckling*

Sesuai standard yang telah dibuat oleh BKI, sebuah kapal harus mampu menahan *buckling* yang diakibatkan oleh beban lateral yang diterima struktur. Analisa *buckling* akan dilakukan pada daerah *midship*.

8. Analisa *ultimate strength*

Setelah dilakukan analisa *buckling* selanjutnya perlu dilakukan analisa *ultimate strength* pada kapal. Analisa ini perlu dilakukan agar struktur tidak mengalami kegagalan walaupun ada pada kondisi ekstrimnya. Analisa *ultimate strength* akan dilakukan pada daerah *midship*. Dimana, diduga daerah ini merupakan daerah yang paling rawan. Analisa *ultimate strength* akan dilakukan dengan bantuan *software ANSYS*.

3.3. PENGUMPULAN DATA

3.3.1. Data Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

Berikut ini pada Tabel 3.1 adalah *principal dimension* untuk kapal survei seismik *Geomarin IV* yang digunakan sebagai acuan pada pengerjaan tugas akhir ini.

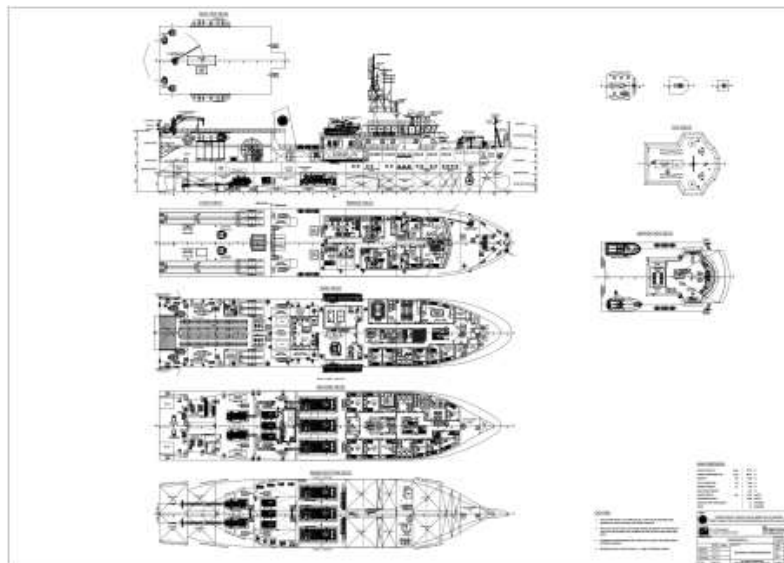
Tabel 3.1. *Principal Dimension* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*
(sumber: PT. Citra Mas, 2017)

Description	Value	Unit
Length Overall	76.2	m
Length Between Perpendicular	69.31	m
Breadth (moulded)	14.8	m
Depth (moulded)	6.5	m
Design draft	4.2	m

Tabel 3.1. *Principal Dimension Kapal Survei Seismik Geomarin IV* (lanjutan)
(sumber: PT. Citra Mas, 2017)

Description	Value	Unit
Scantling draft	4.2	m
Speed	15	Knot
Scientist & technician	24	Orang
Crew	26	Orang

Sedangkan pada Gambar 3.2 di bawah ini merupakan *general arrangement* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.



Gambar 3.2. *General Arrangement Kapal Survei Seismik Geomarin IV*
(sumber: PT. Citra Mas, 2017)

3.3.2. Data Lingkungan Laut Masela

Berikut ini pada Tabel 3.2 adalah data beban lingkungan yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini. Adapun data lingkungan yang digunakan terletak di perairan laut Masela.

Tabel 3.2 Data lingkungan Laut Masela dengan *return period* 10 tahun

(Sumber: Inpex Masela Report)

DIRECTION (from)	H_s (m)	T_p (s)	H_c (m)	H_{max} (m)	$TH_{max_{lower}}$ (s)	$TH_{max_{mid}}$ (s)	$TH_{max_{upper}}$ (s)
1-year							
North	2.0	8.1	2.3	3.7	6.3	7.1	9.0
North-east	1.5	7.8	1.7	2.8	6.0	6.8	8.9
East	1.1	7.4	1.2	2.0	5.7	6.5	8.7
South-east	1.3	7.6	1.5	2.5	5.9	6.7	8.8
South	2.6	8.4	3.0	4.9	6.7	7.4	9.2
South-west	4.0	9.6	4.6	7.6	7.8	8.5	10.2
West	4.4	9.9	5.1	8.3	8.1	8.7	10.4
North-west	4.4	9.9	5.1	8.3	8.1	8.7	10.4
10-years							
North	3.1	8.6	3.6	5.9	6.9	7.6	9.3
North-east	2.4	8.3	2.8	4.5	6.6	7.3	9.1
East	1.7	7.9	1.9	3.2	6.2	7.0	8.9
South-east	2.1	8.1	2.4	3.9	6.4	7.2	9.0
South	4.1	9.7	4.7	7.8	7.9	8.6	10.3
South-west	6.4	11.3	7.4	12.1	9.3	9.9	11.5

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. PEMODELAN STRUKTUR

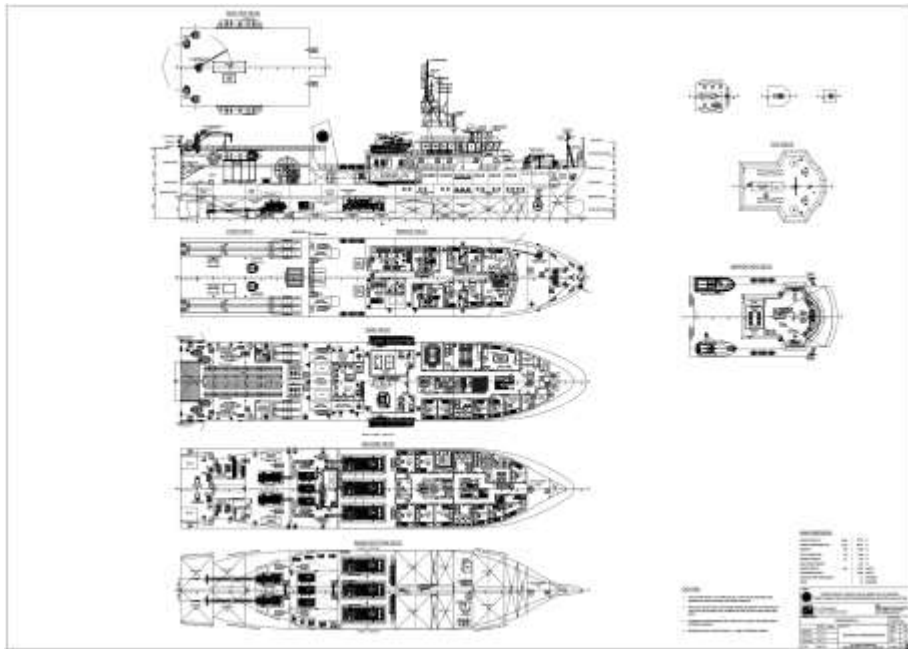
Struktur yang akan dimodelkan adalah kapal survei seismik *Geomarin IV*. Pemodelan lambung dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Maxsurf Modeler. Pemodelan dilakukan dengan acuan data *principal dimension* sesuai dengan yang tertera pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. *Principal Dimension* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

(sumber: PT. Citra Mas, 2017)

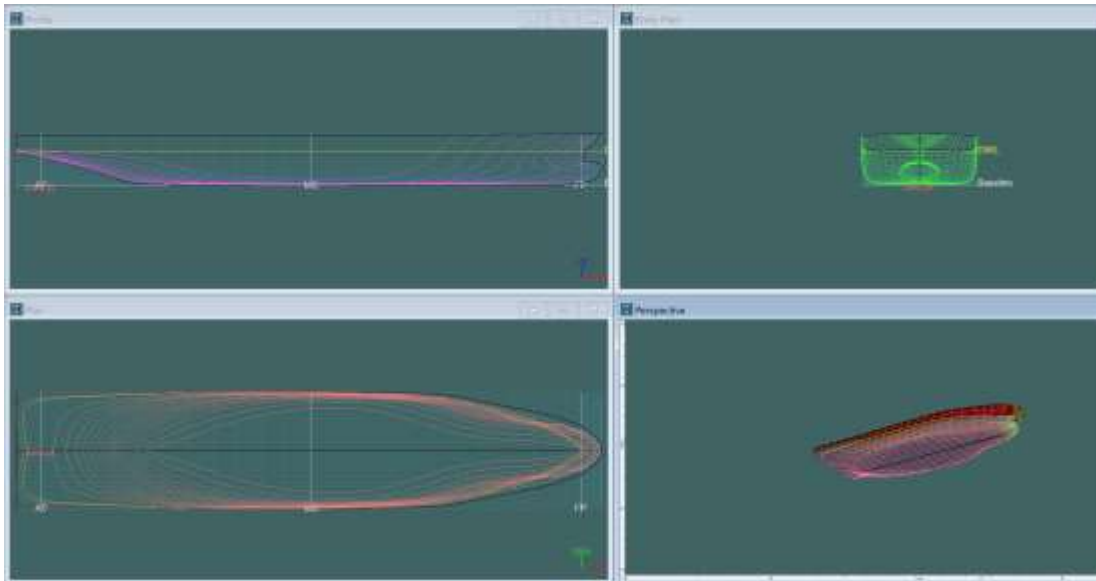
Description	Value	Unit
Length Overall	76.2	m
Length Between Perpendicular	69.31	m
Breadth (moulded)	14.8	m
Depth (moulded)	6.5	m
Design draft	4.2	m
Scantling draft	4.2	m
Speed	15	Knot
Scientist & technician	24	Orang
Crew	26	Orang

Selain itu pemodelan juga menggunakan acuan berupa data *general arrangement* dari kapal survei seismik *Geomarin IV* seperti yang tercantum pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. *General Arrangement* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*
(sumber: PT. Citra Mas, 2017)

Selanjutnya hasil pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Pemodelan Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* dengan Menggunakan Maxsurf Modeler

4.2. HIDROSTATIK

Sebelum model yang telah dibuat dapat digunakan untuk analisa lebih lanjut, terlebih dahulu harus dilakukan validasi dengan membandingkan data hidrostatik model dengan data hidrostatik yang sebenarnya. Hal ini bertujuan agar didapatkan hasil analisa yang mendekati kondisi asli kapal tersebut. Dalam hal ini validasi dilakukan pada saat kondisi *full load*.

Perbedaan hasil perhitungan hidrostatik yang diperoleh antara Maxsurf dengan data hidrostatik yang sebenarnya pada kapal *Geomarin IV* diberikan toleransi sebesar 2%. Hal ini mengacu pada *acceptance tolerance* pada kriteria IACS (*Guideline for Scope of Damage Stability Verification on New Oil Tankers, Chemical Tankers and Gas Carriers*”, 2010). Untuk besaran hidrostatik yang dibandingkan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

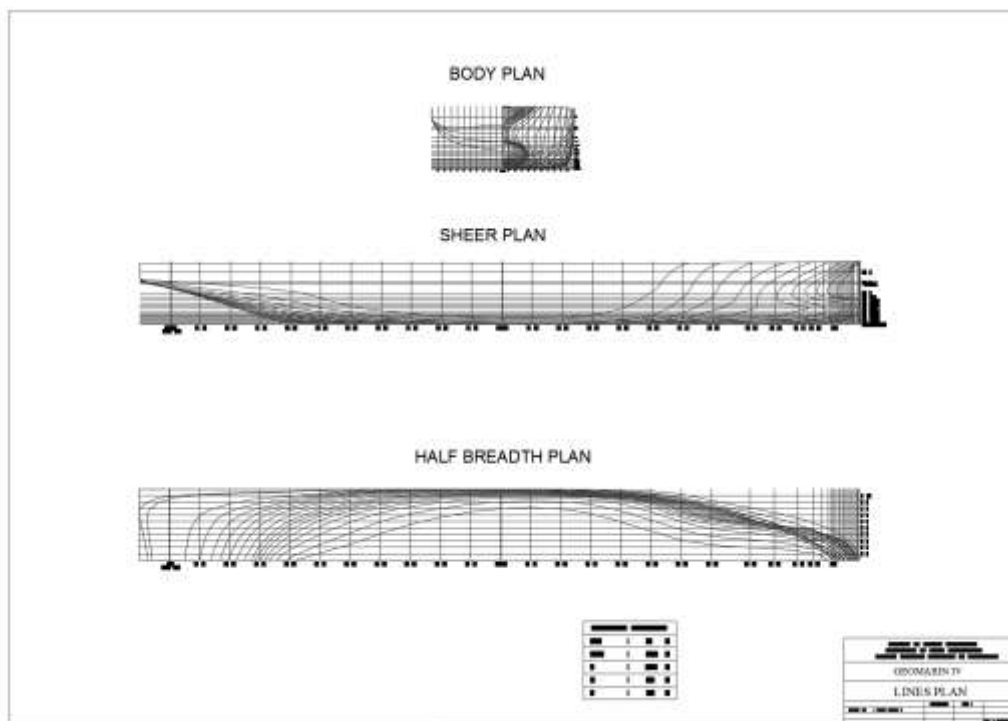
Tabel 4.2. Koreksi Hidrostatik Model dengan Kapal yang Sebenarnya pada Kondisi Full Load
(*sumber: PT. Citra Mas, 2017)

No.	Data	Unit	data hidrostatik model	data hidrostatik kapal *	koreksi	kondisi
1	Displacement	tonne	3113	3161	-1.52%	memenuhi
2	Volume	m ³	3036.629	3083.902	-1.53%	memenuhi
3	Draft Amidship	m	4.2	4.2	0.00%	memenuhi
4	Lwl	m	72.035	72.513	-0.66%	memenuhi
5	Beam WL	m	14.8	14.8	0.00%	memenuhi
6	Wetted Surface Area	m ²	1309.997	1318.613	-0.65%	memenuhi
7	Max. cross section area	m ²	59.075	59.199	-0.21%	memenuhi
8	Waterplane Area	m ²	913.931	929.957	-1.72%	memenuhi
9	Cp		0.714	0.718	-0.56%	memenuhi
10	Cb		0.678	0.684	-0.88%	memenuhi
11	Cm		0.952	0.954	-0.21%	memenuhi
12	Cwp		0.857	0.867	-1.15%	memenuhi
13	Lcb from AP	m	35.03	34.579	1.30%	memenuhi
14	LCF from AP	m	30.526	31.137	-1.96%	memenuhi
15	KB	m	2.314	2.33	-0.69%	memenuhi
16	LCB %		48.578	47.685	1.87%	memenuhi
17	LCF %		42.348	42.94	-1.38%	memenuhi
18	KG fluid		0	0	0.00%	memenuhi
19	BMt		4.732	4.786	-1.13%	memenuhi
20	BML		104.57	106.092	-1.43%	memenuhi
21	KMt		7.046	7.115	-0.97%	memenuhi
22	KML		106.883	108.422	-1.42%	memenuhi
23	Immersion (TPC)		9.368	9.532	-1.72%	memenuhi
24	MTc		48.214	47.526	1.45%	memenuhi

Karena koreksi dari data hidrostatik model yang sudah dibuat kurang dari 2%, maka model yang telah dibuat dinyatakan layak untuk digunakan pada analisa lebih lanjut.

4.3. LINES PLAN

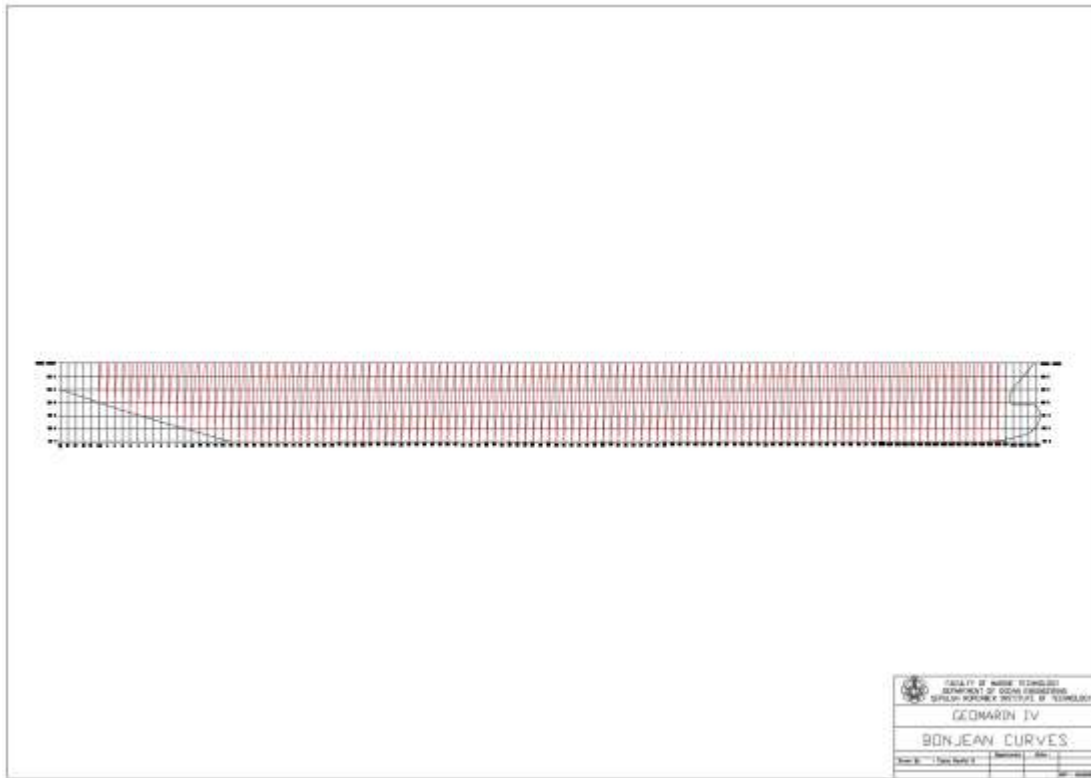
Model kapal yang telah telah divalidasi perlud dilakukan perancangan rencana garis atau dapar disebut juga *lines plan*. Gambar linesplan dari kapal survei seismik *Geomarin IV* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3. *Lines Plan* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

4.4. KURVA BONJEAN

Sebelum dapat dilakukan perhitungan *shear force* dan *bending moment*, diperlukan data luasan bawah air per frame. Karena itu diperlukan kurva bonjean untuk mengetahuinya. Kurva bonjean kapal survei seismik *Geomarin IV* dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut



Gambar 4.4. Kurva Bonjean Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

4.5. ANALISA GERAKAN KAPAL SURVEI SEISMIK *GEOMARIN IV*

Setelah melakukan pemodelan, langkah selanjutnya adalah perlu dilakukannya analisa gerakan pada kapal survei seismik *Geomarin IV*. Pada tugas akhir ini analisa dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Moses. Hasil analisa Moses ini berupa RAO yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik gerak kapal pada mode gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *pitch*, *roll*, dan *yaw*.

Analisa gerak pada tugas akhir ini akan dilakukan pada kondisi full load dan light load. Selain itu analisa dilakukan pada saat kecepatan maksimum yaitu 15 knot dan arah datang gelombang dari arah head seas (180°). Input yang dibutuhkan untuk *software* Moses adalah nilai radius girasi dimana sebelumnya harus dihitung terlebih dahulu nilai *center of gravity*.

4.5.1 FULL LOAD

4.5.1.1. Perhitungan Titik Berat Struktur

Dikarenakan pemodelan hanya dilakukan pada bagian lambung saja, maka *centre of gravity* dari lambung kapal harus dikoreksi dengan penambahan *point mass* dari bangunan atas, tangki muatan, dan jumlah muatan yang mengisi tangka berdasarkan *general arrangement*. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan *centre of gravity* pada kondisi *full load* seperti yang dicantumkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. *Centre of Gravity* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*

<i>Centre of Gravity</i>		
AP-G	KG	TCG
35.444 m	4.397 m	0.013 m

4.5.1.2. Perhitungan Radius Girasi

Perhitungan radius girasi struktur didasarkan pada persamaan yang diajukan oleh Bhattacharyya (1978) dimana radius girasi dari gerak rotasi struktur merupakan hasil akar dari jumlah massa dikalikan masing – masing jarak massa tersebut dari *centre of gravity*.

- Radius girasi *roll* $k_{xx} = \sqrt{\frac{\sum w_i(y_i^2 + z_i^2)}{\Delta}}$
- Radius girasi *pitch* $k_{yy} = \sqrt{\frac{\sum w_i(x_i^2 + z_i^2)}{\Delta}}$
- Radius girasi *yaw* $k_{zz} = \sqrt{\frac{\sum w_i(x_i^2 + y_i^2)}{\Delta}}$

Perhitungan dengan teori Bhattacharyya (1978) dilakukan dengan membagi kapal dalam pias – pias kecil lalu dihitung dengan perkalian simpson. Namun karena bentuk kapal yang tidak beraturan maka akan susah menentukan titik *point mass* dari sebuah volume benda. Maka dalam tugas akhir ini

perhitungan radius girasi dilakukan dengan pendekatan standard *Bureau Veritas* sebagai berikut:

- Radius girasi *roll*, $k_{xx} = 0.289 \cdot B \cdot \left(1.0 + \left(\frac{2KG}{B}\right)^2\right)$
- Radius girasi *pitch = yaw*, $k_{yy} = k_{zz} = \sqrt{\frac{1}{12}} L$

Dengan:

B = Lebar Kapal (m)

KG = Jarak *keel* ke titik berat kapal (m)

L = Panjang Garis Air (m)

Berikut ini hasil perhitungan radius girasi kapal dalam kondisi *full load* tercantum pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Radius Girasi Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*

Radius Girasi		
k_{xx} (m)	k_{yy} (m)	k_{zz} (m)
5.81 m	20.93 m	20.93 m

4.5.2 LIGHT LOAD

4.5.2.1. Perhitungan Titik Berat Struktur

Akibat adanya perbedaan jumlah muatan pada kondisi *full load* dan *light load* maka perlu dihitung kembali letak *centre of gravity* menyesuaikan dengan muatan pada kondisi *light load*. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan *centre of gravity* seperti pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5. *Centre of Gravity* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Light Load*

Centre of Gravity		
AP-G	KG	TCG
35.074 m	5.727 m	-0.004 m

4.5.2.2. Perhitungan Radius Girasi

Karena *centre of gravity* bernilai berbeda dengan kondisi *full load* maka nilai radius girasi mempunyai nilai yang berbeda pula. Perhitungan radius girasi pada kondisi *light load* mengadopsi teori yang diberikan oleh *Bureau Veritas*. Berikut ini Tabel 4.6 merupakan hasil perhitungan radius girasi kapal dalam kondisi *light load*.

Tabel 4.6. Radius Girasi Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Light Load*

Radius Girasi		
k_{xx} (m)	k_{yy} (m)	k_{zz} (m)
6.86 m	20.93 m	20.93 m

4.6. ANALISA RAO

Analisa RAO dilakukan untuk mengetahui karakteristik gerakan kapal. Pada tugas akhir ini nilai RAO difokuskan hanya pada mode gerakan *heave* dan *pitch* dengan arah gelombang *headseas* (180°). Sedangkan RAO pada pengerjaan tugas akhir ini ditinjau menjadi dua kondisi yaitu RAO pada kondisi *full load* dan pada kondisi *light load*. Grafik fungsi transfer (RAO) digambarkan sebagai grafik fungsi antara respon gerakan suatu bangunan apung akibat eksitasi yang terjadi. Dalam proses analisa gerakan ini dibantu dengan menggunakan *software* Moses. Berikut ini adalah hasil analisa RAO pada kondisi *full load* diberikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. RAO Gerakan *Heave* dan *Pitch* pada Arah Datang Gelombang *Headseas* pada Kondisi *Full Load*

Frequency	Heave	Pitch
0.05	0.977	0.108
0.1	0.976	0.122
0.2	0.974	0.251
0.3	0.964	0.518
0.4	0.938	0.904
0.5	0.883	1.388
0.6	0.786	1.926
0.7	0.636	2.436
0.8	0.438	2.774
0.9	0.229	2.74
1	0.15	2.132
1.1	0.252	0.989
1.2	0.319	0.223
1.3	0.215	0.637
1.4	0.061	0.592
1.5	0.048	0.318
1.6	0.055	0.17
1.7	0.034	0.181
1.8	0.022	0.104
1.9	0.015	0.05
2	0.023	0.159

Sedangkan Analisa RAO pada kondisi *light load* mempunyai nilai yang berbeda. Hal ini diakibatkan pada kondisi *light load* muatan pada kapal lebih sedikit mengakibatkan turunnya sarat air. Akibat turunnya sarat air maka tentu kapal mempunyai olah gerak yang berbeda. RAO pada kondisi *light load* dianalisa pada arah datang gelombang *headseas* (180°) dan ditinjau *heave* dan *pitch*. Pada Tabel 4.8 berikut disajikan hasil analisa RAO pada kondisi *light load*.

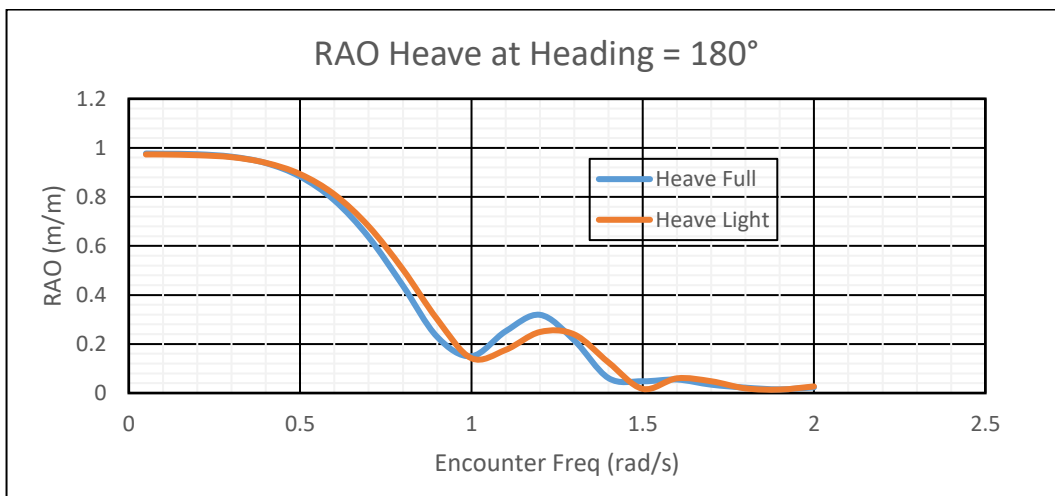
Tabel 4.8. RAO Gerakan *Heave* dan *Pitch* pada Arah Datang Gelombang *Headseas* pada Kondisi *Light Load*

Frequency	Heave	Pitch
0.05	0.973	0.068
0.1	0.973	0.087

Tabel 4.8. RAO Gerakan *Heave* dan *Pitch* pada Arah Datang Gelombang *Headseas* pada Kondisi *Light Load* (lanjutan)

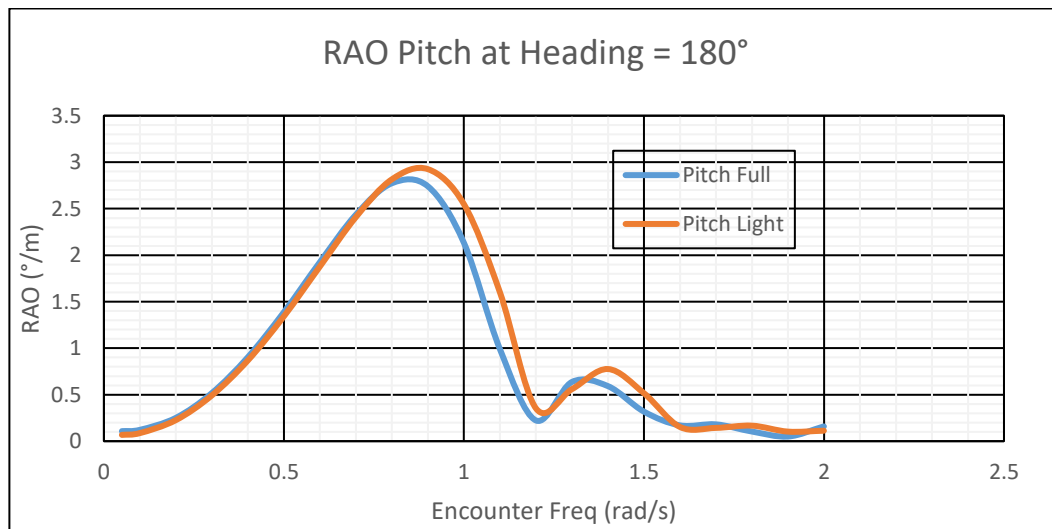
Frequency	Heave	Pitch
0.2	0.97	0.227
0.3	0.962	0.493
0.4	0.939	0.869
0.5	0.893	1.343
0.6	0.81	1.879
0.7	0.68	2.41
0.8	0.504	2.816
0.9	0.301	2.925
1	0.142	2.548
1.1	0.176	1.6
1.2	0.249	0.353
1.3	0.239	0.56
1.4	0.125	0.776
1.5	0.017	0.516
1.6	0.06	0.153
1.7	0.048	0.143
1.8	0.019	0.167
1.9	0.014	0.103
2	0.027	0.113

Data RAO ini menunjukkan karakteristik perilaku gerak kapal survei seismik pada kondisi terapung bebas. Dari grafik RAO dapat dilihat bahwa sumbu x dinyatakan sebagai fungsi frekuensi (ω) sedangkan sumbu y merupakan fungsi RAO.



Gambar 4.5. Grafik RAO Gerakan *Heave* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

Gerakan *heave* merupakan salah satu pola gerakan relatif vertikal untuk kapal atau bangunan lepas pantai. Dilihat dari grafik, bahwa semakin kecil frekuensi maka semakin kecil pula nilai RAO gerakan *heave*. Artinya respon gerakan struktur akibat adanya gelombang semakin kecil dan hampir tidak ada seiring semakin kecilnya frekuensi. Dapat dilihat dari grafik RAO gerakan *heave* pada Gambar 4.5 dimulai pada frekuensi 0.05 rad/s sebesar 0.977 m/m kemudian grafik secara bertahap turun sebelum kembali mengalami kenaikan hingga RAO 0.319 m/m dan menurun lagi hingga mendekati 0 m/m. Sedangkan untuk kondisi *light load* mempunyai nilai puncak yang lebih rendah daripada RAO gerakan *heave* pada kondisi *full load* yaitu sebesar 0.973 m/m.



Gambar 4.6. Grafik RAO Gerakan *Pitch* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

Sedangkan untuk RAO gerakan *pitch* dapat dilihat pada Gambar 4.6 mempunyai karakteristik yang berbeda dengan grafik RAO gerakan *heave*. Grafik RAO gerakan *pitch* dimulai dari frekuensi 0.05 rad/s sebesar 0.108 °/m sebelum mencapai puncak pada frekuensi 0.8 rad/s dengan nilai sebesar 2.774 °/m dan turun kembali hingga mendekati 0 °/m setelah sebelumnya sempat mengalami kenaikan secara tidak signifikan pada frekuensi 1.3 rad/s dengan nilai sebesar 0.637 °/m. Sedangkan RAO gerakan *pitch* pada kondisi *light load* mempunyai nilai puncak yang lebih besar yaitu sebesar 2.925 °/m pada frekuensi 0.9 rad/s.

Dari grafik RAO di atas dapat diketahui nilai maksimum *heave* dan *pitch* pada dua kondisi dengan sudut datang gelombang 180° pada Tabel 4.9. Berikut adalah rangkuman nilai maksimum RAO gerakan *heave* dan *pitch* pada kedua kondisi.

Tabel 4.9. Nilai Maksimum RAO gerakan *Heave* dan *Pitch*

Full Load	Gerakan	Unit	RAO Maksimal Sudut Datang Gelombang 180°
	<i>Heave</i>	m/m	0.977
	<i>Pitch</i>	°/m	2.774
Light Load	Gerakan	Unit	RAO Maksimal Sudut Datang Gelombang 180°
	<i>Heave</i>	m/m	0.973
	<i>Pitch</i>	°/m	2.925

4.7. ANALISA DISTRIBUSI BEBAN

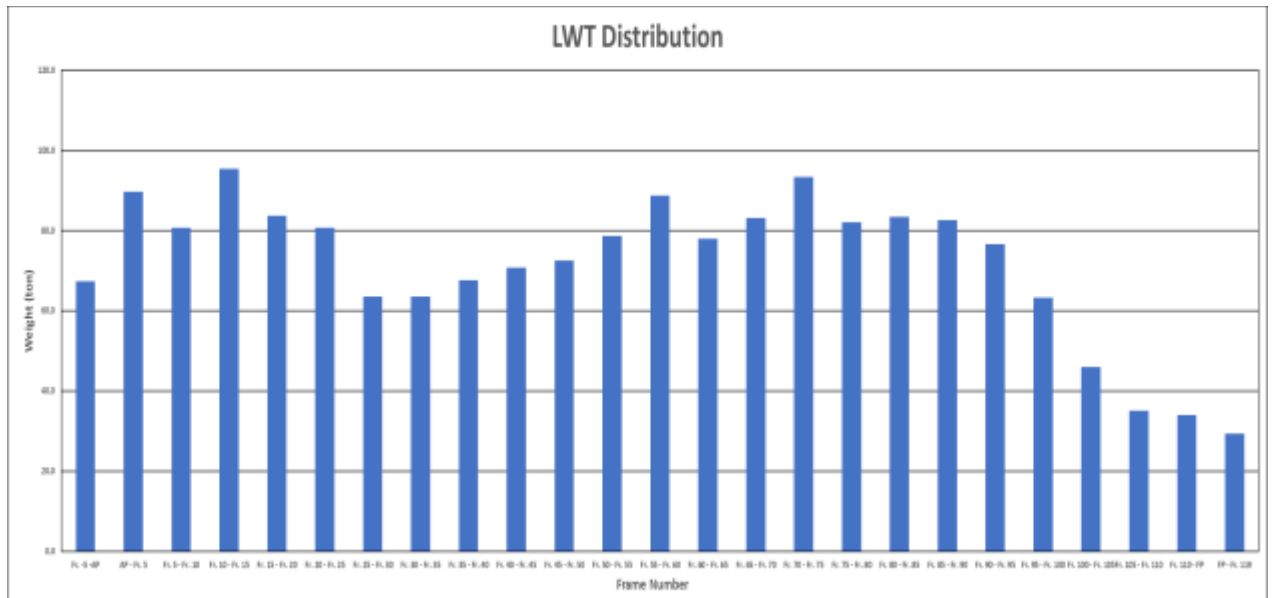
Berat suatu kapal secara umum dapat dikategorikan menjadi dua yaitu LWT (Light Weight Tonnage) dan DWT (Dead Weight Tonnage). Perhitungan berat kapal dilakukan untuk mengetahui gaya – gaya tekan ke bawah yang berkontribusi terhadap kekuatan memanjang kapal. Berat – berat yang dipertimbangkan dalam perhitungan LWT berdasarkan *general arrangement* yang ada antara lain, berat kontruksi tiap *frame*, permesinan, perlengkapan seismik, dan sebagainya. Berikut adalah komponen – komponen dan grafik distribusi beban LWT pada kapal survei seismik *Geomarin IV* dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.7.

Tabel 4.10. Komponen Berat LWT

No.	Nama Komponen	Berat (ton)
1	Hull Construction	698.475
2	Superstructure	247.568
3	Deckhouse	197.264

Tabel 4.10. Komponen Berat LWT (lanjutan)

No.	Nama Komponen	Berat (ton)
4	Other Construction	17.363
5	Electrical	7.840
6	Machinery	205.04
7	Hull Outfitting	79.015
8	Survey Equipment	233.620
9	Acc. and Furniture	37.669
10	Wall	12.146
11	Roof	5.089
12	Floor	48.856
Total		1,789.614



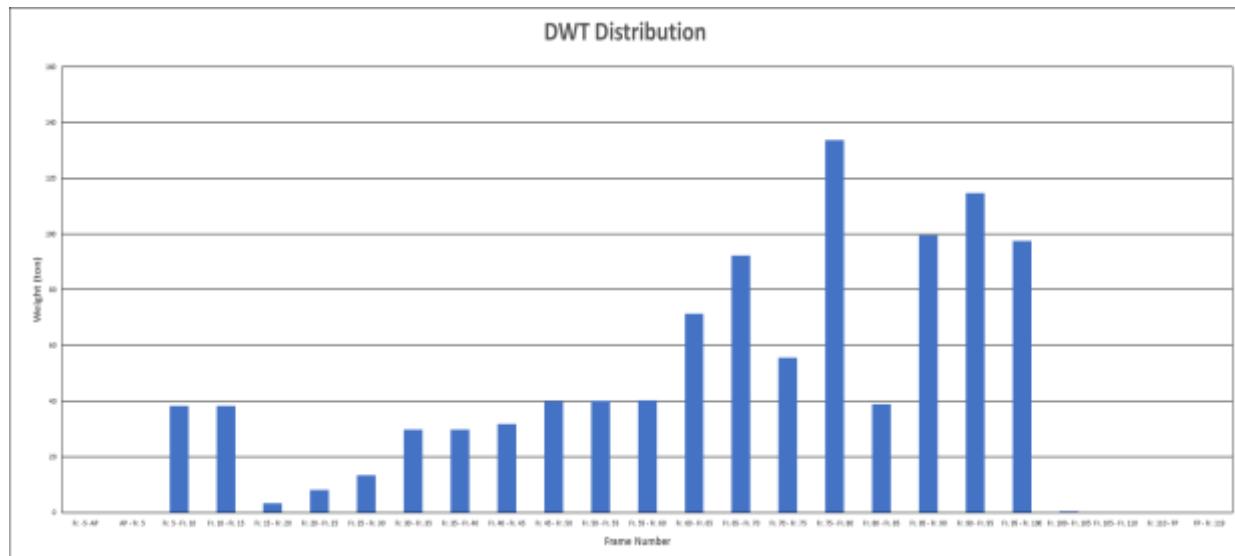
Gambar 4.7. Grafik Distribusi Beban LWT pada Kapal Survei Seismik
Geomarin IV

Untuk distribusi beban DWT dipertimbangkan untuk muatan yang dibawa disesuaikan dengan kondisi pembebanan dan *general arrangement* yang ada.

Muatan tersebut antara lain, bahan bakar, air bersih, dan oli. Berikut adalah komponen berat DWT pada kondisi *full load* pada kapal survei seismik *Geomarin IV* dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.8.

Tabel 4.11. Komponen Berat DWT pada Kondisi *Full Load*

No.	Nama Komponen	Berat (ton)
1	Fuel Oil	528.136
2	Fresh Water	481.540
3	Lubricant Oil	2.806
4	Crew & Scientist	5
Total		1,017.482



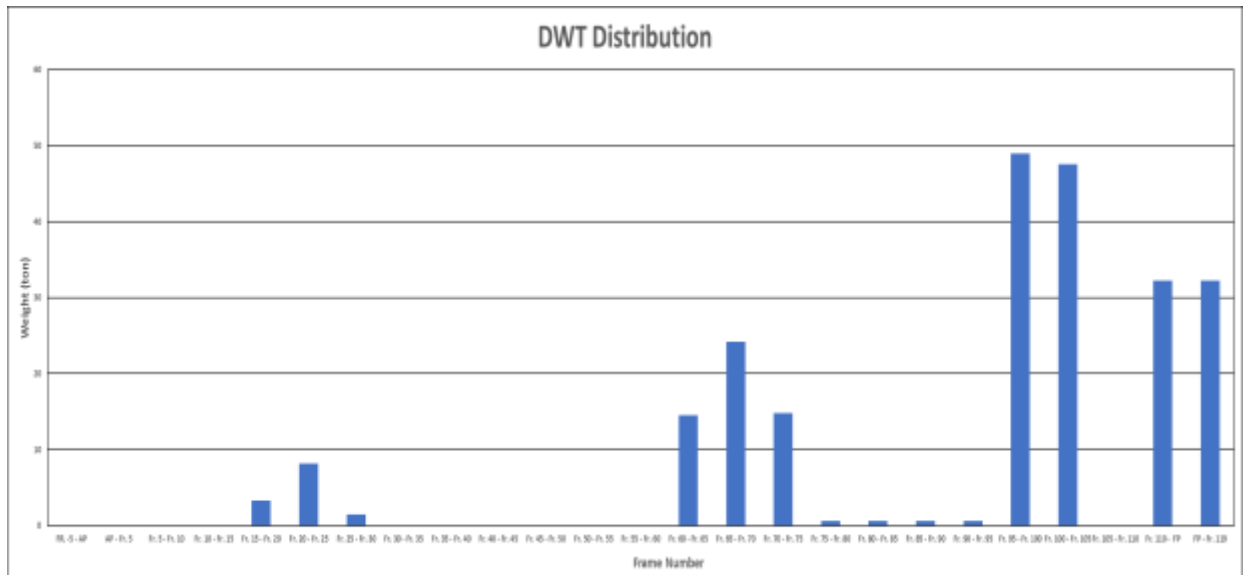
Gambar 4.8. Grafik Distribusi Beban DWT pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*

Sedangkan pada kondisi *light load* terdapat beberapa perbedaan di antaranya terdapatnya *water ballast* yang digunakan untuk mengatur *trim*. Selain itu muatan lain seperti bahan bakar juga dikurangi hingga menjadi 10% kapasitas tangka saja.

Komponen berat DWT dan grafiknya pada kondisi *light load* dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.9.

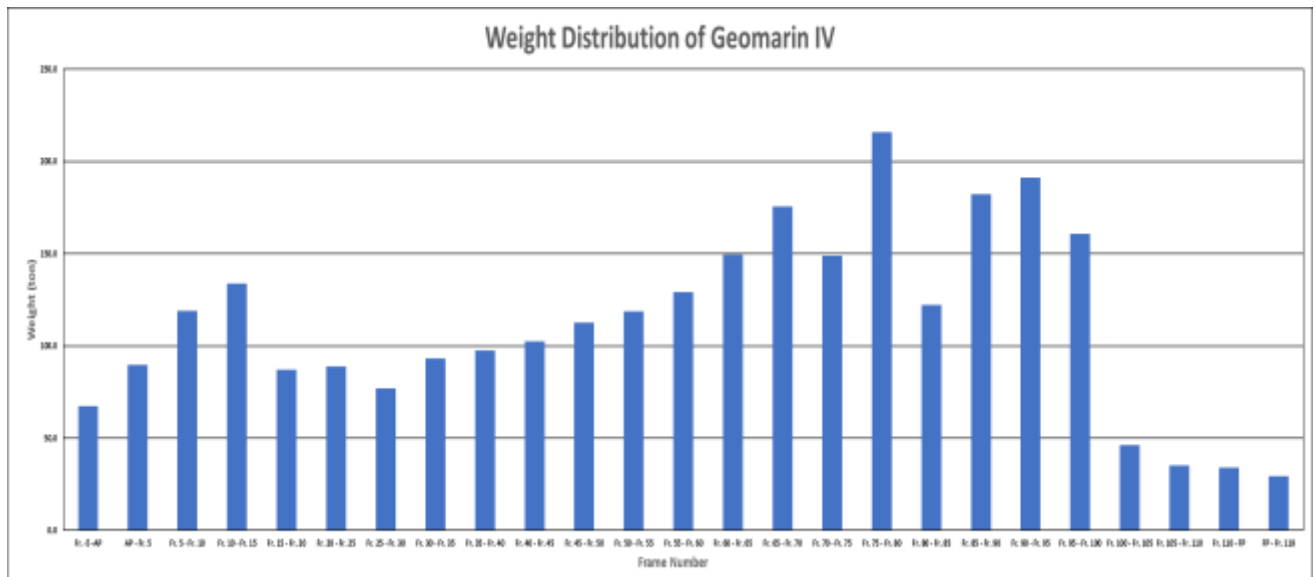
Tabel 4.12. Komponen Berat DWT pada Kondisi *Light Load*

No.	Nama Komponen	Berat (ton)
1	Fuel Oil	62.032
2	Fresh Water	48.371
3	Lubricant Oil	2.806
4	Water Ballast	111.748
5	Crew & Scientist	5
Total		229.957



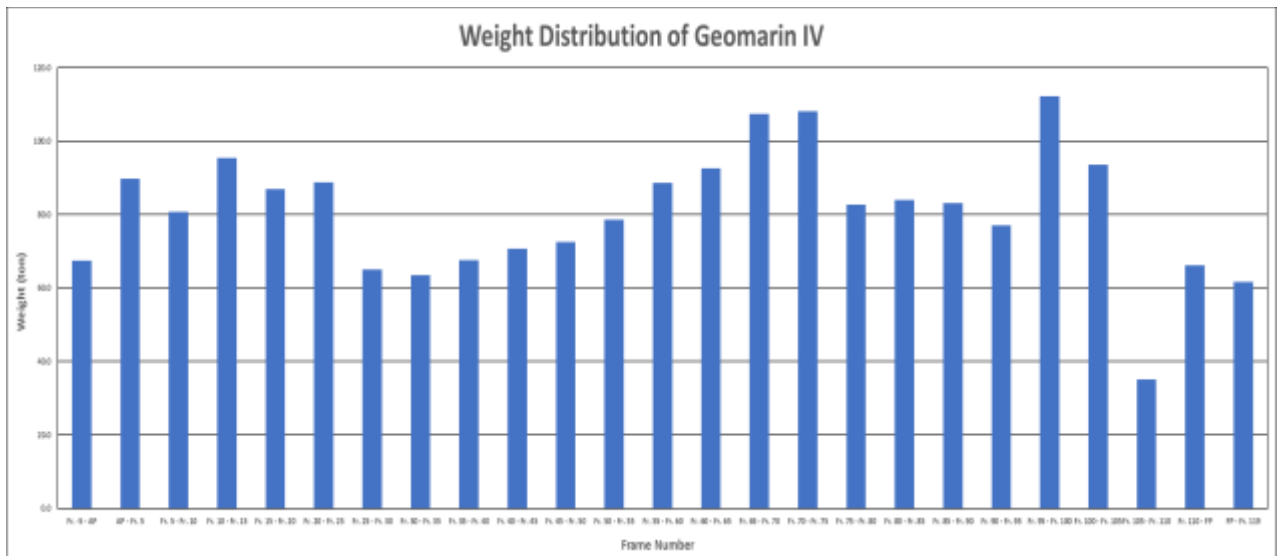
Gambar 4.9. Grafik Distribusi Beban DWT pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Light Load*

Setelah masing – masing distribusi beban LWT dan DWT diketahui maka didapatkan distribusi beban total yang terjadi pada kapal survei seismik *Geomarin IV*. Untuk grafik distribusi beban total pada kondisi *full load* dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10. Grafik Distribusi Beban Total pada Kapal Survei Seismik *Geomarin* IV pada Kondisi *Full Load*

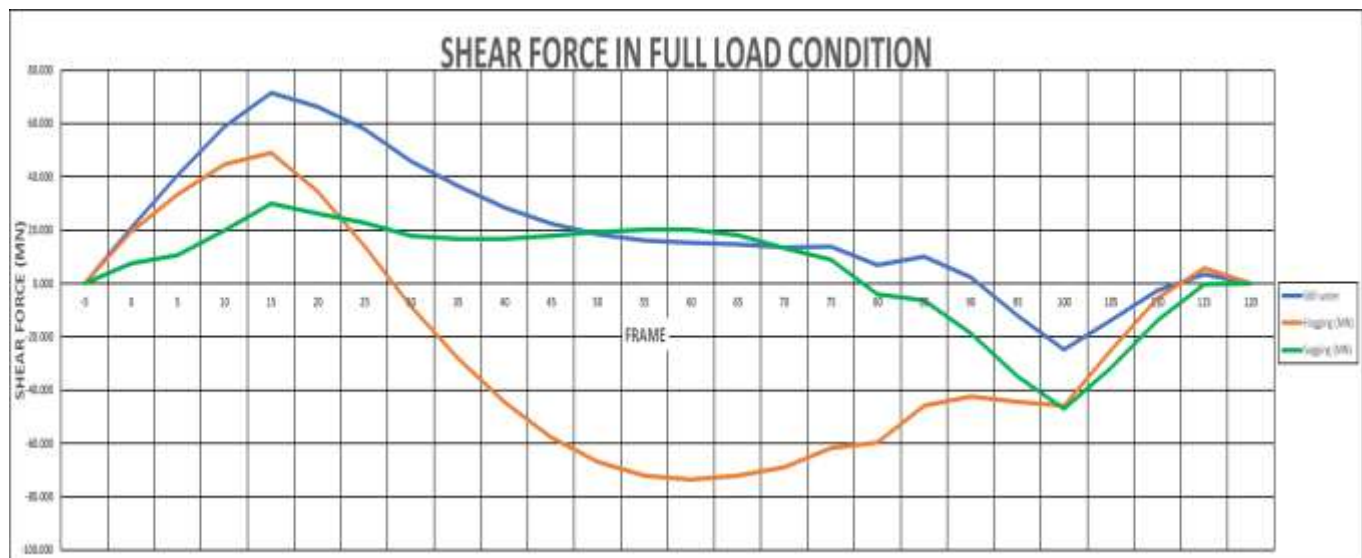
Sedangkan grafik distribusi beban total pada kondisi *light load* dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.



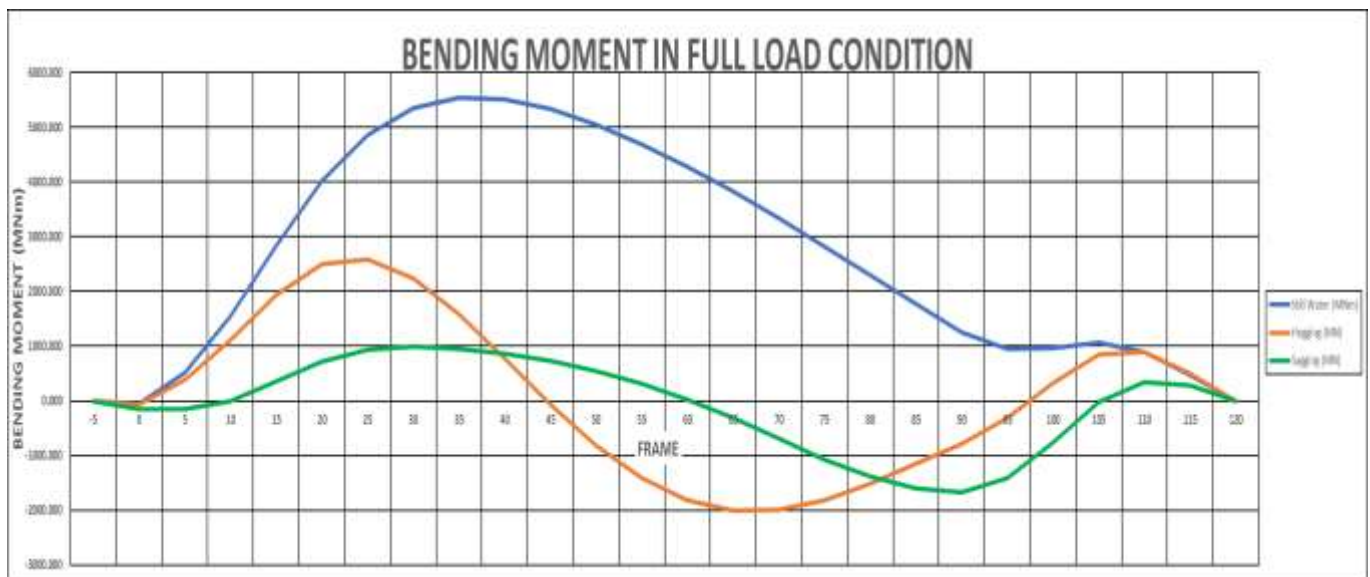
Gambar 4.11. Grafik Distribusi Beban Total pada Kapal Survei Seismik *Geomarin* IV pada Kondisi *Light Load*

4.8. ANALISA *SHEAR FORCE* DAN *BENDING MOMENT* PADA GELOMBANG

Perhitungan kekakuan memanjang kapal dititikberatkan oleh pengaruh gelombang reguler dengan kondisi-kondisi batas pemodelan yang telah dilakukan dan *output* yang diperoleh. *Output* tersebut di antaranya adalah luasan di bawah garis air yang berasal dari kurva *bonjean* dan distribusi beban total. *Shear force* adalah integral dari selisih antara berat dan *buoyancy* pada tiap frame, sedangkan *bending moment* adalah integral dari *shear force*. Dari perhitungan matematis pada kedua kondisi yaitu kondisi *full load* dan *light load* diperoleh sebaran gaya geser dan momen lengkung pada tiap *frame*. Berikut ini adalah grafik *shear force* dan *bending moment* pada kondisi *full load* dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



Gambar 4.12. Grafik *Shear Force Stillwater* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*

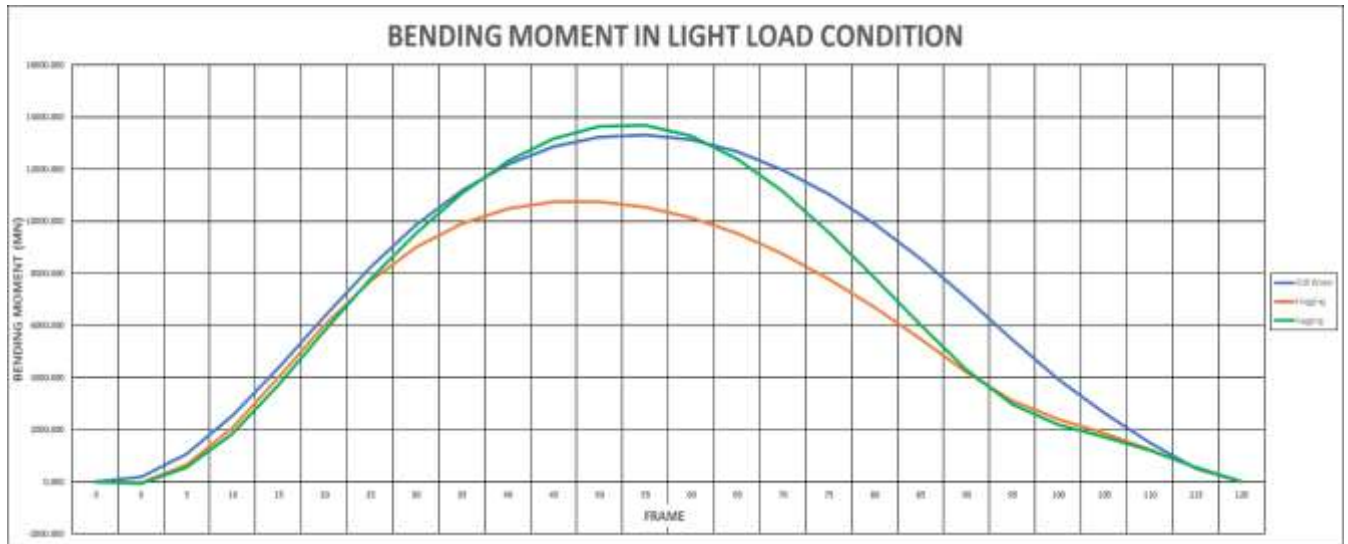


Gambar 4.13. Grafik *Bending Moment Stillwater* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*

Sedangkan berikut ini adalah grafik *shear force* dan *bending moment* pada kondisi *light load* diberikan pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15. Untuk nilai *shear force* dan *bending moment* maksimum pada kedua kondisi dapat dilihat pada Tabel 4.13.



Gambar 4.14. Grafik *Shear Force Stillwater* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Light Load*



Gambar 4.15. Grafik *Bending Moment Stillwater* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Light Load*

Tabel 4.13. Shear Force dan Bending Moment Maksimum

Full Load		Unit	
	<i>Shear Force</i>	MN	159.107
	<i>Bending Moment</i>	MNm	2,589.998
Light Load		Unit	
	<i>Shear Force</i>	MN	159.107
	<i>Bending Moment</i>	MNm	13,687.743

4.9. PERHITUNGAN *MODULUS SECTION*

Selanjutnya setelah diketahui *shear force* dan *bending moment* perlu dicek apakah *stress* yang diterima masih memenuhi nilai *allowable stress* atau tidak. Nilai *allowable stress* yang menjadi acuan diperoleh dari persyaratan yang diberikan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Berdasarkan BKI perhitungan *allowable stress* diberikan sebagai berikut.

$$\sigma_p = \text{permissible longitudinal bending stress (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_p = c_s \cdot \sigma_{p0}$$

Dimana,

$$\sigma_{p0} = 18.5 \cdot \frac{\sqrt{L}}{k}$$

$$c_s = 1$$

Sehingga didapatkan nilai *allowable stress* untuk struktru kapal survei seismik *Geomarin IV* sebagai berikut pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Perhitungan *Allowable Stress*

Permissible Longitudinal Bending Stress			
σ_{p0}	=	$18.5 \cdot \frac{\sqrt{L}}{k}$	for L<90m
	=	95904	
c_s	=	1	for 0.3 < x/L < 0.7
σ_p	=	95904	N/mm ²
	=	95904000000	N/m ²

Setelah dilakukan pengecekan ternyata *stress* yang diterima struktur masih di bawah *allowable stress* sehingga dinyatakan aman. Pengecekan *stress* dilakukan pada tiga kondisi yaitu pada kondisi *Stillwater*, *hogging*, dan *sagging*. Tabel 4.15 berikut ini menunjukkan hasil pengecekan *stress* pada tiga kondisi tersebut.

Tabel 4.15. Pengecekan *stress* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*

Stress Check (Full Load)			
Stillwater			
$\sigma_{stillwaterbottom}$	1,565,075,342	N/m ²	allow
$\sigma_{stillwaterdeck}$	5,920,090,877	N/m ²	allow
Hogging			
$\sigma_{hoggingbottom}$	539,376,000	N/m ²	allow
$\sigma_{hoggingdeck}$	2,040,256,373	N/m ²	allow
Sagging			
$\sigma_{saggingbottom}$	2,850,519,544	N/m ²	allow
$\sigma_{saggingdeck}$	10,782,442,417	N/m ²	allow

Selanjutnya pengecekan dilakukan untuk modulus dan inersia kapal. Keduanya menggunakan standard yang telah ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia.

$$W_{min} = k \cdot c_0 \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^6 [m^3]$$

Dari persamaan *modulus section* minimum di atas ternyata nilai modulus di *deck* maupun di lambung kapal ada di atas nilai minimumnya yaitu sebesar 0.773 m³ sehingga dinyatakan aman seperti yang diberikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Pengecekan modulus pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

Modulus Check		
W _{deck}	0.813	allow
W _{bottom}	3.074	allow

Sedangkan nilai inersia struktur juga dinyatakan aman seperti tercantum pada Tabel 4.17 dikarenakan ada di atas nilai minimum inersia yang disyaratkan oleh BKI sebesar 1.669 m⁴.

$$I_y = 3 \cdot 10^{-2} \cdot W \cdot \frac{L}{k} [m^4]$$

Tabel 4.17. Pengecekan Inersia pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

Inertia Check		
I _{na}	5.913	allow

Sedangkan untuk kondisi *light load* tidak ada perbedaan pada modulus dan inersianya namun ada perbedaan pada *stress* dikarenakan perbedaan *draft* dan distribusi beban yang diterima oleh struktur. Berikut ini pada Tabel 4.18 adalah hasil pengecekan *stress* pada kondisi *light load*.

Tabel 4.18. Pengecekan *stress* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Light Load*

Stress Check (Light Load)			
Stillwater			
$\sigma_{\text{stillwaterbottom}}$	2,774,203,124	N/m ²	allow
$\sigma_{\text{stillwaterdeck}}$	10,493,766,126	N/m ²	allow
Hogging			
$\sigma_{\text{hoggingbottom}}$	2,239,932,353	N/m ²	allow
$\sigma_{\text{hoggingdeck}}$	8,472,820,914	N/m ²	allow
Sagging			
$\sigma_{\text{saggingbottom}}$	2,850,519,544	N/m ²	allow
$\sigma_{\text{saggingdeck}}$	10,782,442,417	N/m ²	allow

4.10. ANALISA GAYA GESER DAN MOMEN LENGKUNG DENGAN METODE QUASI STATIS

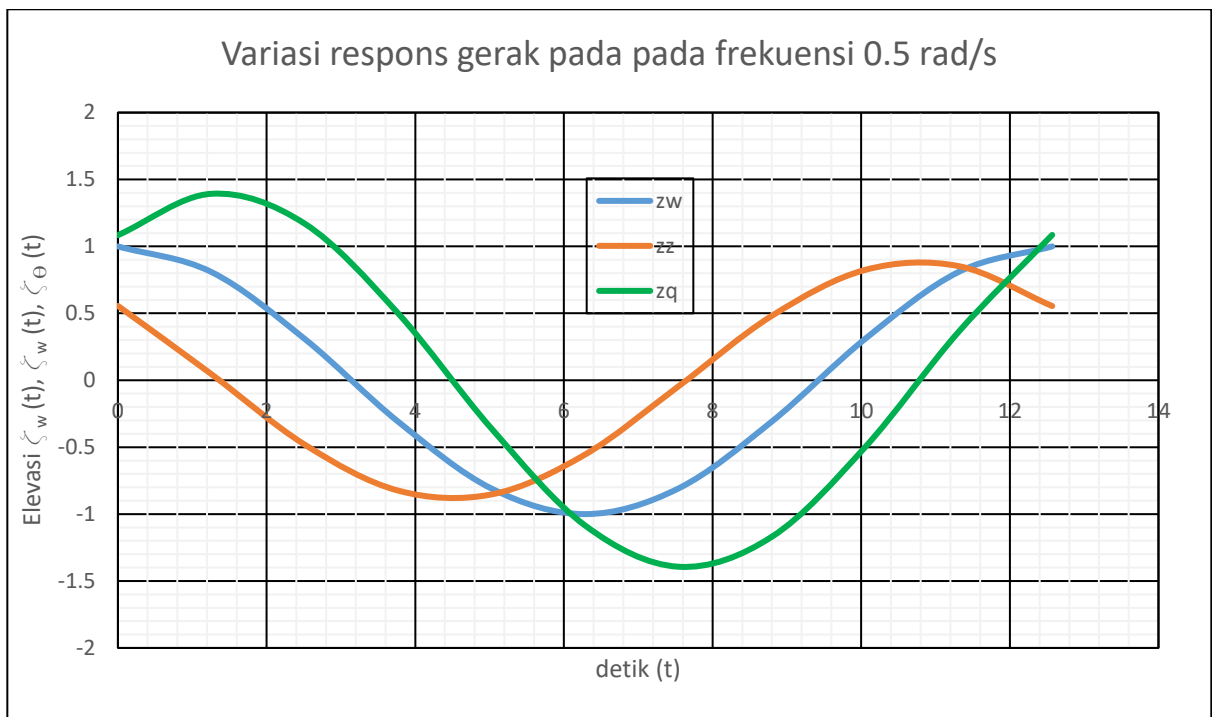
Metode quasi-statis adalah perhitungan dengan pendekatan statis terhadap perilaku dinamis objek. Perhitungan respon struktur dengan pendekatan quasi-statis dilakukan pada saat kapal bergerak kopel *heave-pitch* pada beberapa frekuensi yang didapat dari analisa RAO sebelumnya. Dari hasil RAO frekuensi 0.5 rad/s didapatkan nilai periode 12.57 s, dengan *heave* 0.883, sudut fase *heave* - 51 deg, *pitch* 1.395, sudut fase *pitch* 39 deg. Variasi frekuensi ditunjukkan pada Tabel 4.19 serta kurva variasi pada gambar 4.16 dan pergerakan kapal akibat gerakan *heave* dan *pitch* pada frekuensi 0.5 rad/s kondisi *full load* dapat dilihat pada Gambar 4.17.

Tabel 4.19. Sebelas Variasi per Periode pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi *Full Load*

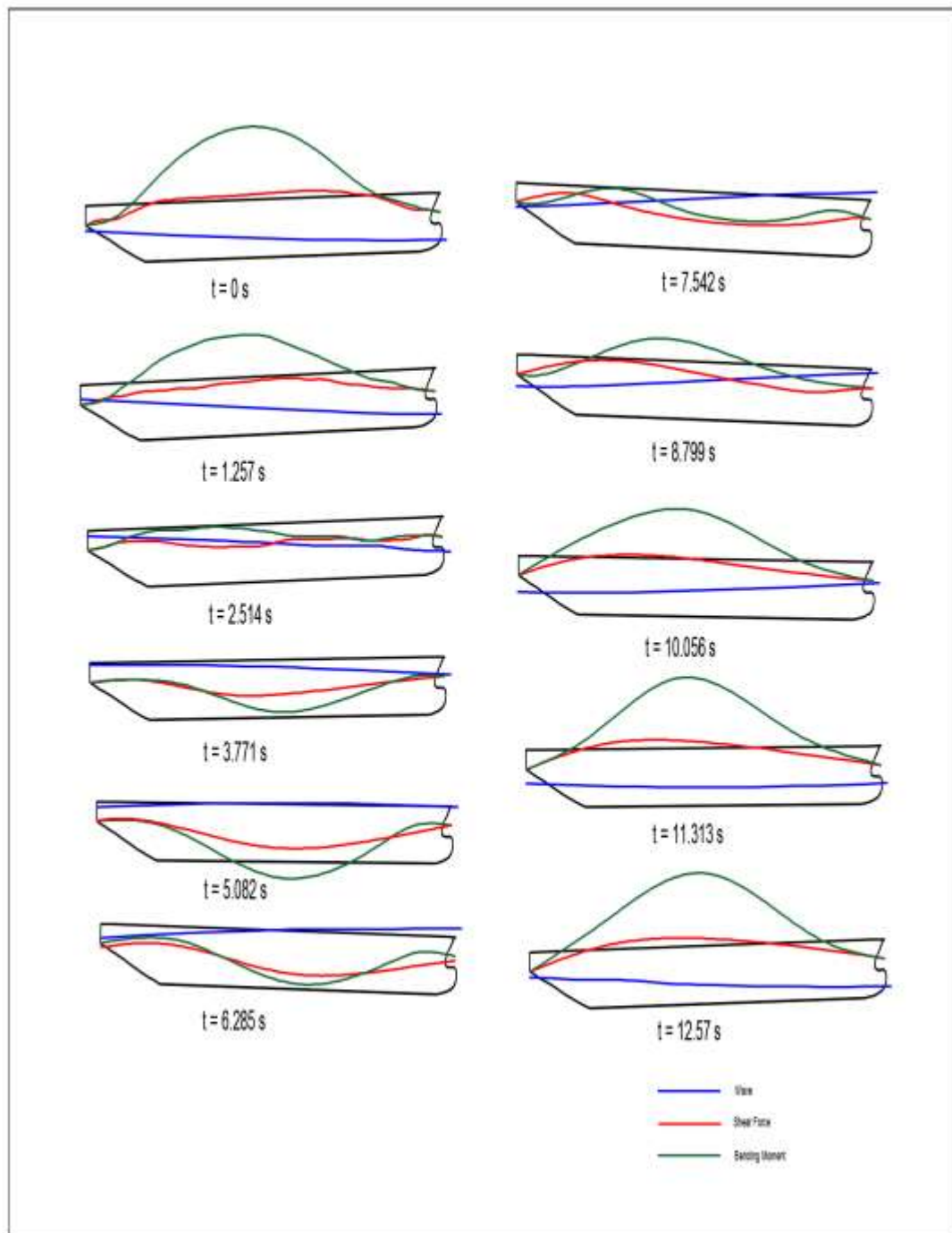
t	ζ_w	ζ_z	ζ_θ
	$\cos \omega t$	$\cos(\omega t + \varepsilon_z)$	$\cos(\omega t + \varepsilon_\theta)$
0	1	0.555689905	1.084118616
1.257	0.808910316	0.046052631	1.393101427

Tabel 4.19. Sebelas Variasi per Periode pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi *Full Load* (lanjutan)

t	ζ_w	ζ_z	ζ_θ
	$\cos \omega t$	$\cos(\omega t + \varepsilon_z)$	$\cos(\omega t + \varepsilon_\theta)$
5.028	-0.809443441	-0.85274639	-0.362030568
6.285	-0.999999588	-0.555067037	-1.084914731
7.542	-0.808376525	-0.045252516	-1.393166868
8.799	-0.307808633	0.481856584	-1.168979372
10.056	0.310397369	0.824810039	-0.498032079
11.313	0.8099759	0.852538115	0.363252799
12.57	0.999998353	0.554443713	1.085709953

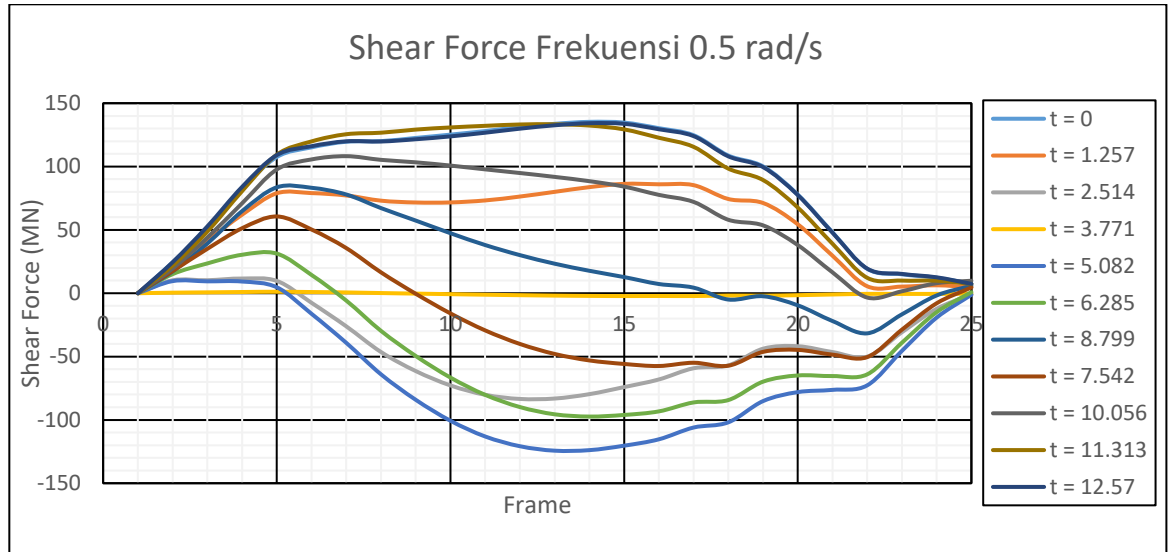


Gambar 4.16. Grafik Sebelas Variasi per Periode pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi *Full Load*

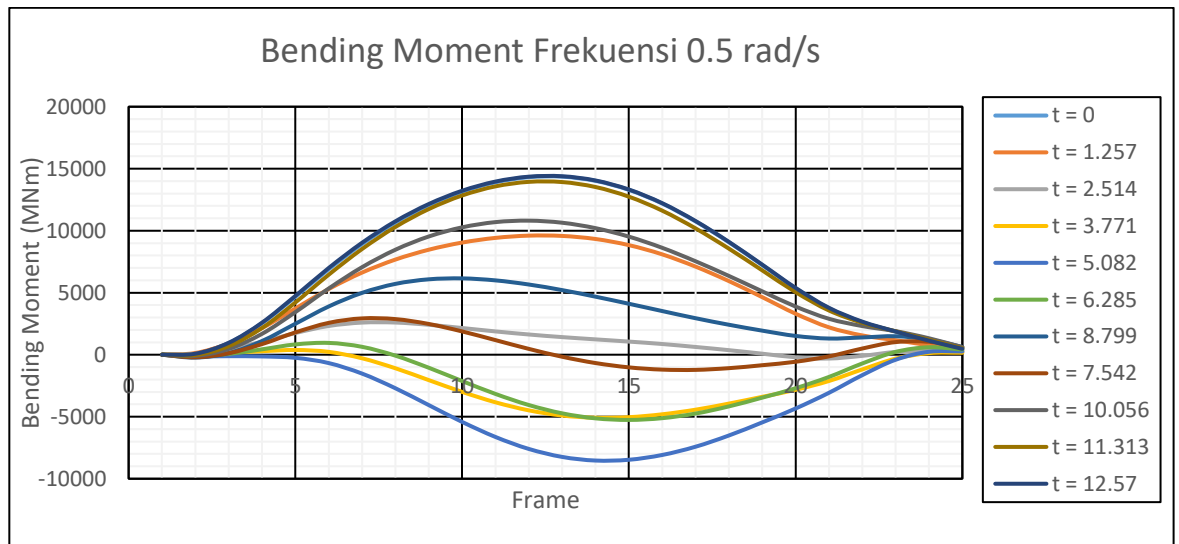


Gambar 4.17. Pola gerakan kapal, *shear force*, dan *bending moment* di gelombang haluan $h = 2.0$ m dan $\omega = 0.5$ rad/s pada kondisi *Full Load*

Dari variasi dalam satu siklus di atas maka didapatkan nilai *shear force* dan *bending moment* yang berbeda – beda. Selanjutnya nilai – nilai tersebut diplot untuk menghasilkan grafik distribusi *shear force* dan *bending moment* pada frekuensi 0.5 rad/s yang ditampilkan pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.

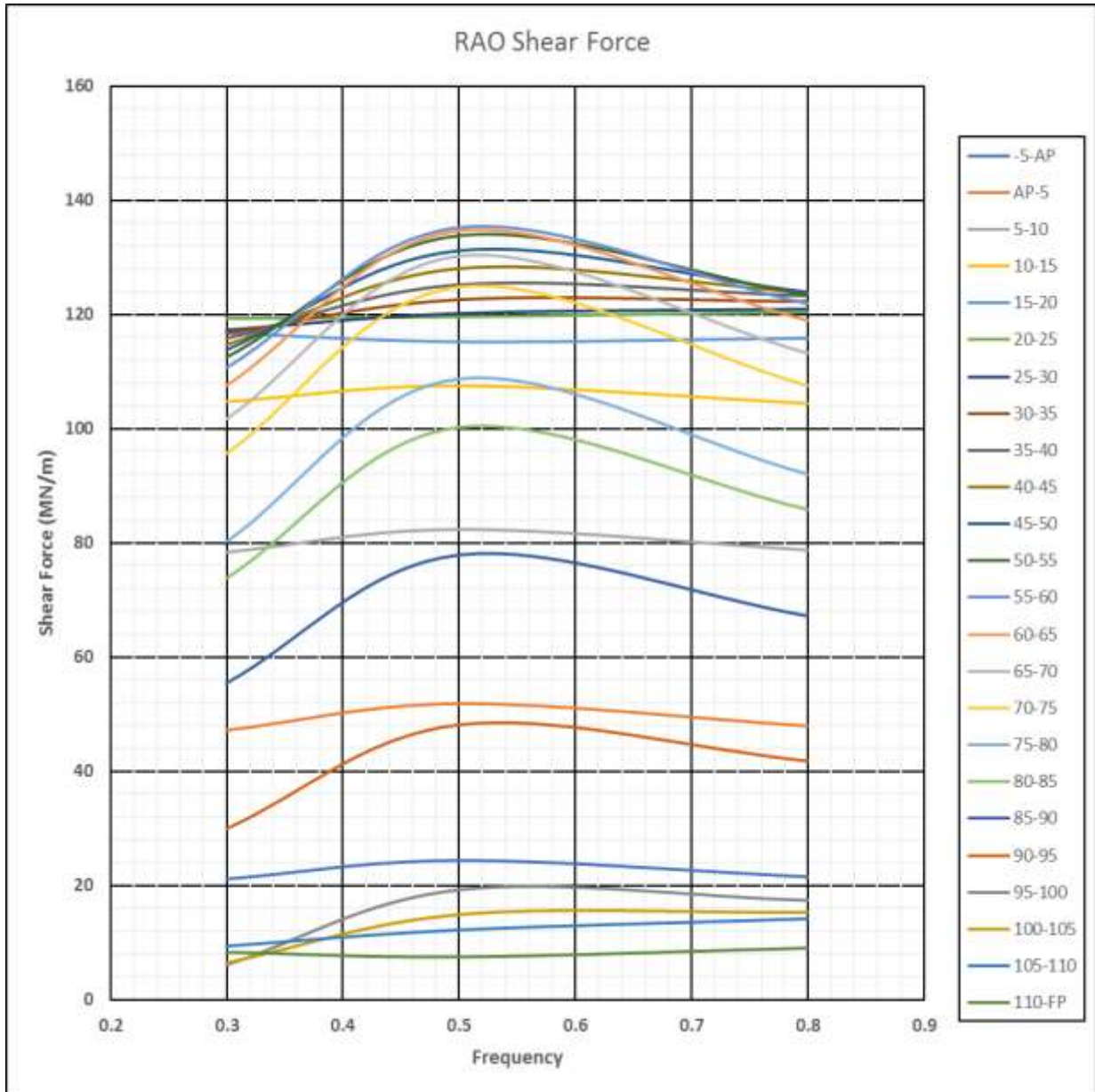


Gambar 4.18. Grafik Distribusi *Shear Force* pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi *Full Load*

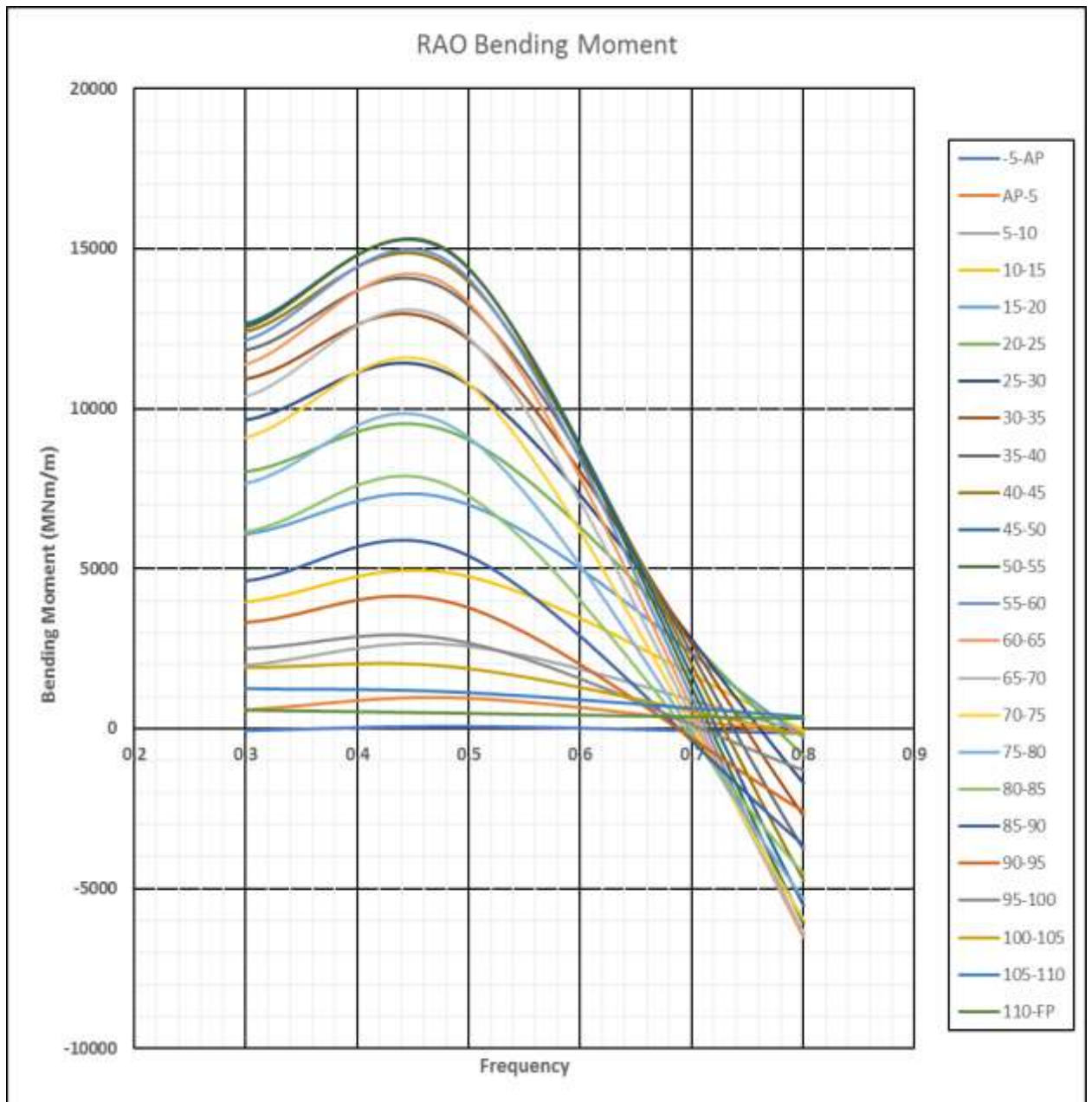


Gambar 4.19. Grafik Distribusi *Bending Moment* pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi *Full Load*

Selanjutnya dari data tersebut maka dilakukan plot nilai *shear force* dan *bending moment* maksimal pada tiap – tiap frekuensi sehingga didapatkan RAO *shear force* dan *bending moment* seperti yang dicantumkan pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21.



Gambar 4.20. Grafik RAO *Shear Force* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*



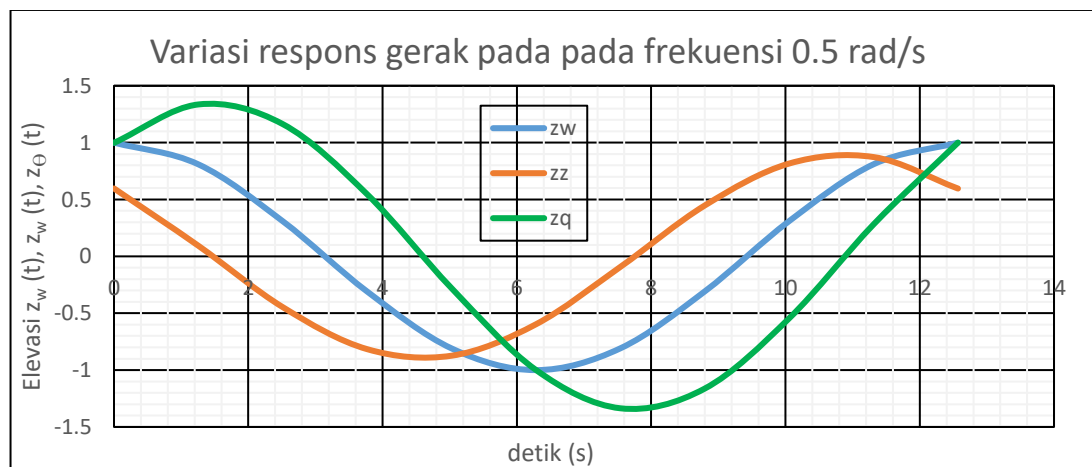
Gambar 4.21. Grafik RAO *Bending Moment* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*

Sedangkan pada kondisi *light load* relatif tidak ada perbedaan untuk profil gelombang, namun ada perbedaan pada gerak *heave* dan *pitch*. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan draft dan muatan yang berakibat berbeda pula nilai titik beratnya. Frekuensi 0.5 rad/s pada kondisi *light load* mempunyai periode yang

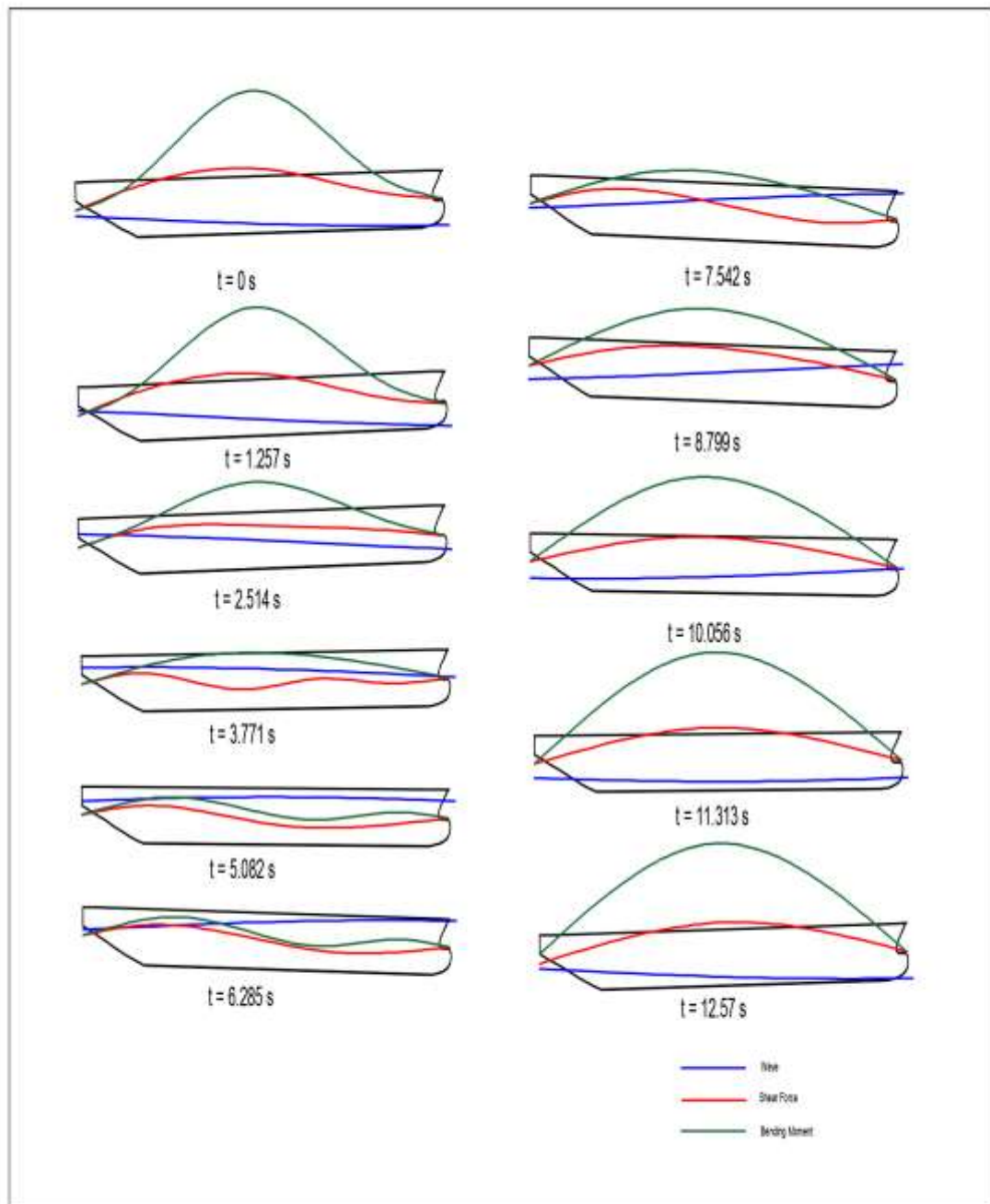
sama yaitu 12.57 s sementara itu amplitudo *heave* 0.893 dengan sudut fase *heave* - 48 deg, lalu gerak *pitch* 1.343 dengan sudut fase *pitch* 42 deg. Berikut ini pada Tabel 4.20 adalah hasil variasi untuk frekuensi 0.5 rad/s pada kondisi *light load* beserta gerakan kapal akibat gerakan *heave* dan *pitch* pada Gambar 4.22. Pergerakan kapal akibat gerakan *heave* dan *pitch* pada frekuensi 0.5 rad/s kondisi *light load* dapat dilihat pada Gambar 4.23.

Tabel 4.20. Sebelas Variasi per Periode pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi *Light Load*

t	ζ_w	ζ_z	ζ_θ
	$\cos \omega t$	$\cos (\omega t + \varepsilon_z)$	$\cos (\omega t + \varepsilon_\theta)$
0	1	0.597533631	0.998043501
1.257	0.808910316	0.093182752	1.335668358
2.514	0.308671799	-0.446780653	1.162828327
3.771	-0.309534711	-0.81599371	0.545579301
5.028	-0.809443441	-0.873350807	-0.280178877
6.285	-0.999999588	-0.596931245	-0.99885847
7.542	-0.808376525	-0.092376877	-1.335794964
8.799	-0.307808633	0.447482028	-1.162218183
10.056	0.310397369	0.816322534	-0.544465592
11.313	0.8099759	0.87318141	0.281370515
12.57	0.999998353	0.596328367	0.999672616



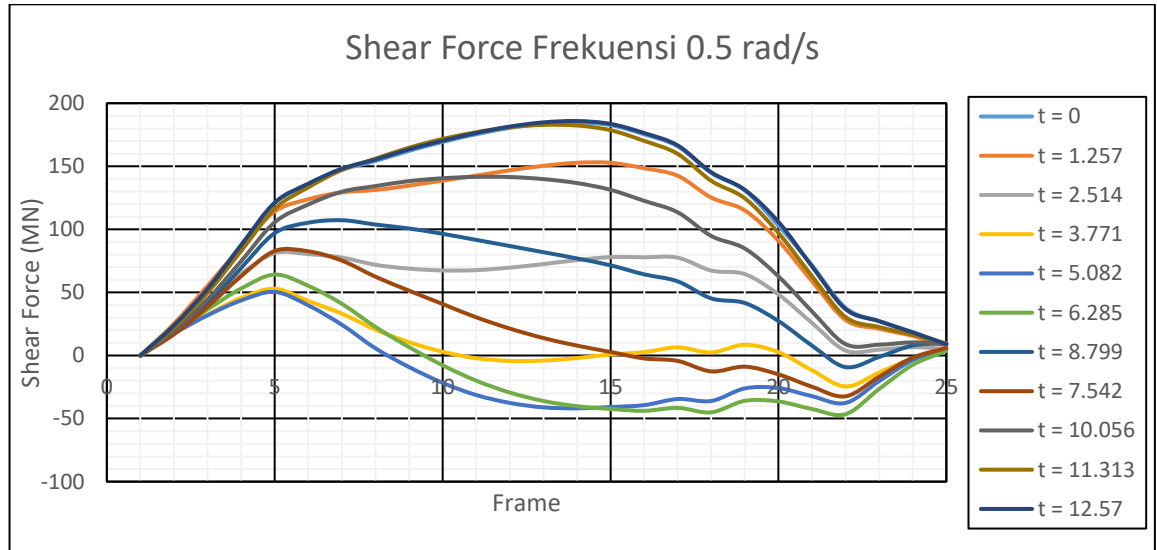
Gambar 4.22. Grafik Sebelas Variasi per Periode pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi *Light Load*



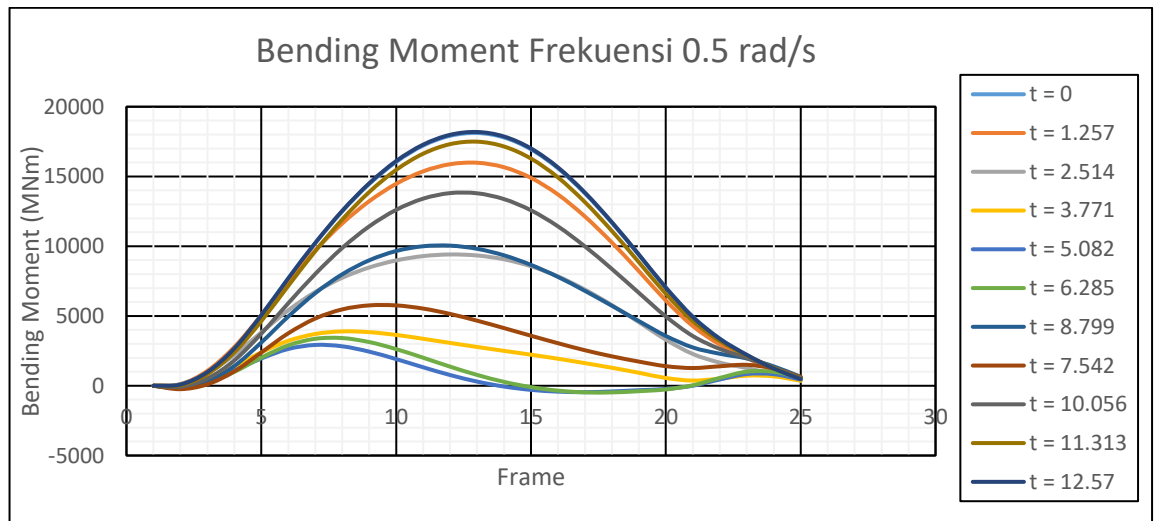
Gambar 4.23. Pola gerakan kapal, *shear force*, dan *bending moment* di gelombang haluan $h = 2.0$ m dan $\omega = 0.5$ rad/s pada kondisi *Light Load*

Langkah selanjutnya adalah kita plot grafik distribusi *shear force* dan *bending moment* pada kondisi *light load* untuk selanjutnya dibuat RAO *shear fore* dan

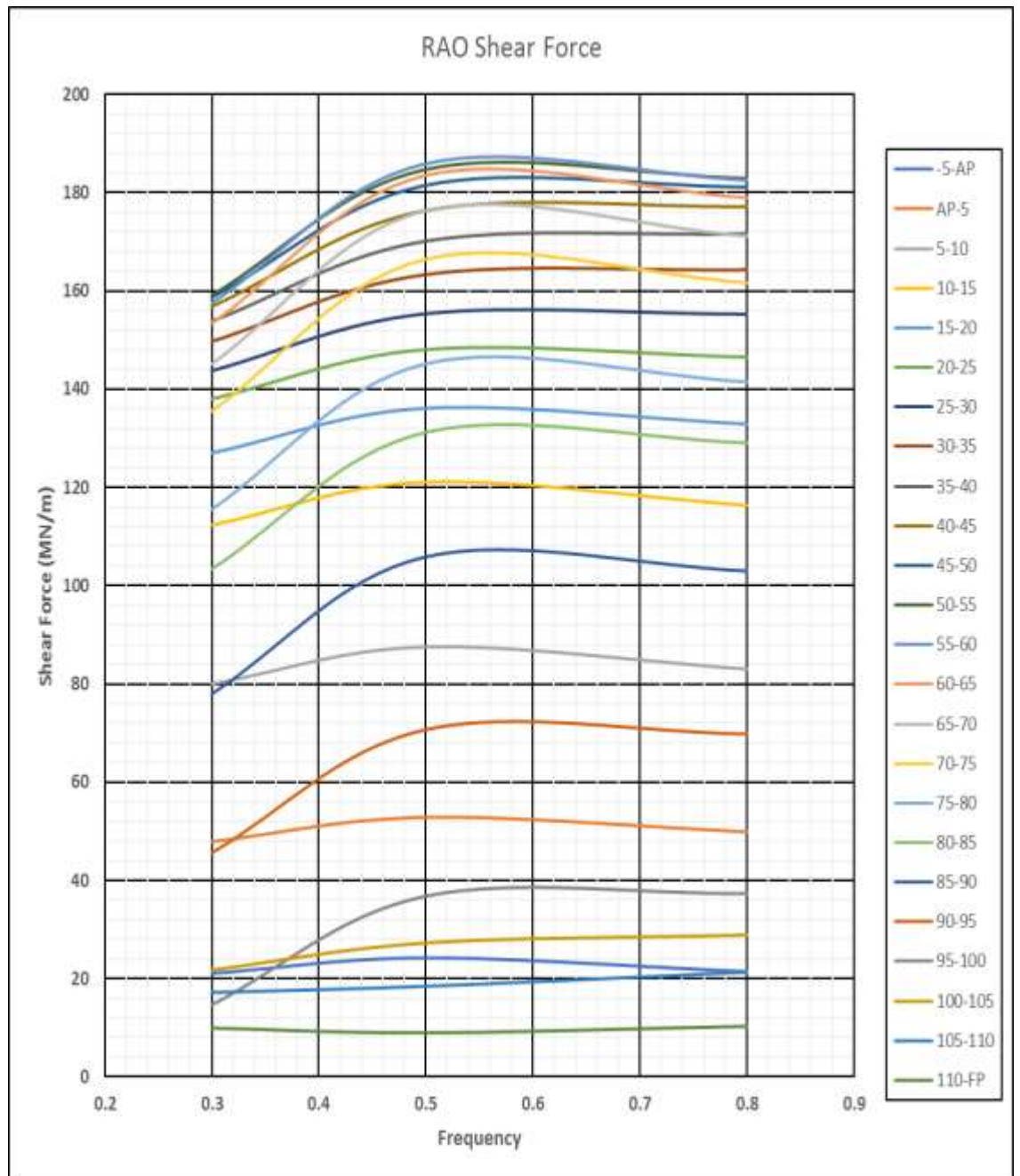
bending moment pada kondisi *light load*. Hasil plot grafik distribusi *shear force* dan *bending moment* dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan Gambar 4.25. Sedangkan grafik RAO *shear force* dan *bending moment* dicantumkan pada Gambar 4.26 dan Gambar 4.27.



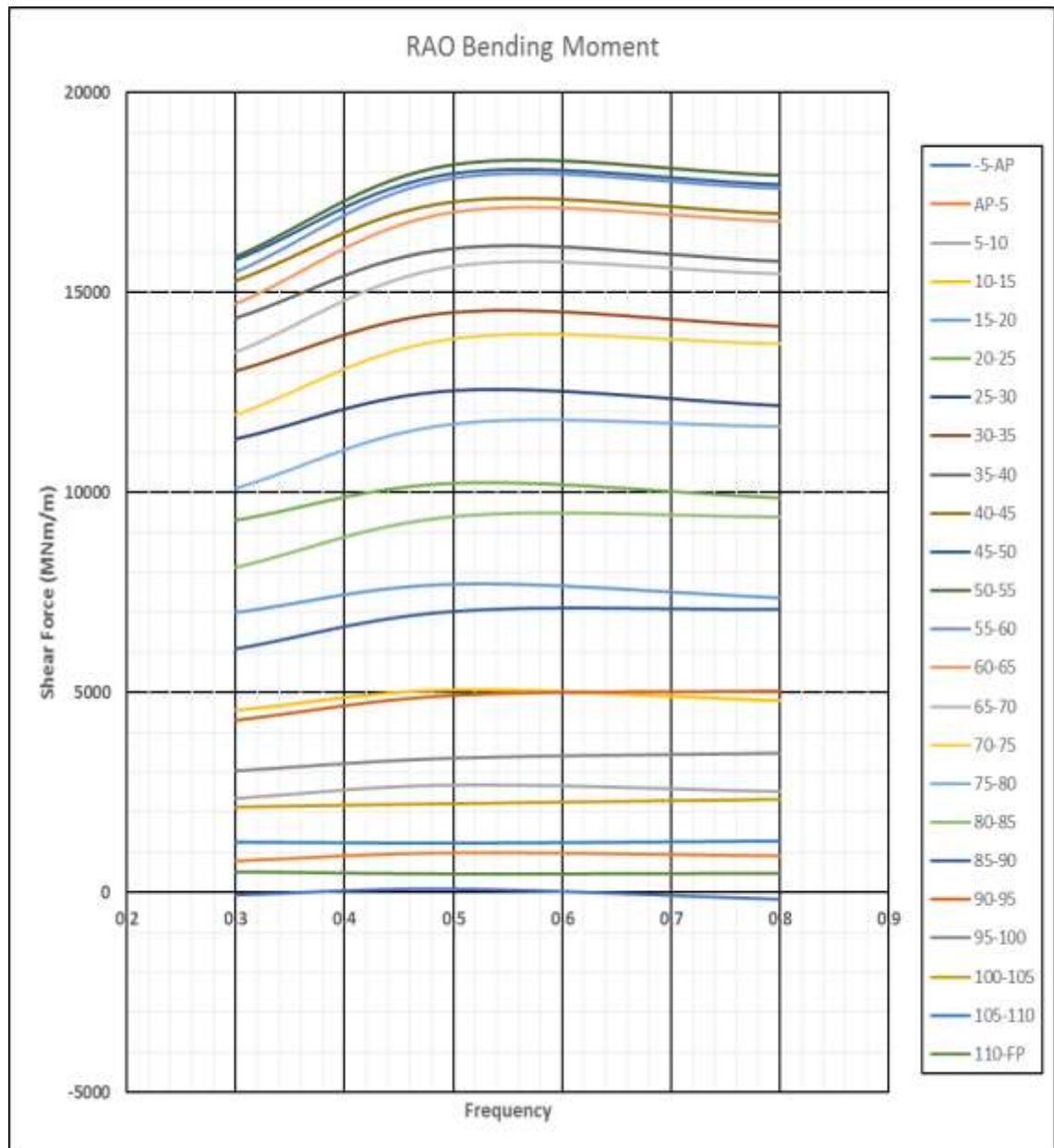
Gambar 4.24. Grafik Distribusi *Shear Force* pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi *Light Load*



Gambar 4.25. Grafik Distribusi *Bending Moment* pada Frekuensi 0.5 rad/s pada Kondisi *Light Load*



Gambar 4.26. Grafik RAO *Shear Force* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Light Load*



Gambar 4.27. Grafik RAO *Bending Moment* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Light Load*

4.11. ANALISA LONGITUDINAL BUCKLING

Sebuah Kapal yang akan beroperasi harus memenuhi persyaratan yang diminta oleh badan yang memberukan izin berlayar keadaan kapal tersebut. Hal ini untuk memberikan kenyamanan dan memastikan kepada pihak – pihak yang terkait

bahwa sebuah kapal dapat berlayar dengan baik. Oleh karena itu perlu adanya pengecekan *longitudinal buckling* pada kapal survei seismik *Geomarin IV* untuk memastikan keamanan struktur.

Pengecekan *longitudinal buckling* ini sendiri mengacu kepada standard yang telah dikeluarkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) selaku badan klasifikasi yang memberikan izin berlayar kepada kapal survei seismik *Geomarin IV*. Perhitungan *longitudinal buckling* berdasarkan standard BKI diberikan sebagai berikut.

$$\frac{\sigma_a + \sigma_b}{R_{eH}} S \leq 1 \quad (4.1)$$

Dimana

σ_a = Tegangan merata sepanjang sumbu penguat

= σ_x Untuk penguat memanjang

= σ_y Untuk penguat melintang

σ_b = *Bending stress* pada penguat

$$= \frac{M_0 + M_1}{W_{st} \cdot 10^3}$$

R_{eH} = Koefisien Material

$$= 235 \text{ N/mm}^2$$

S = Faktor Keselamatan

$$= 1.1$$

Untuk bisa menghitung *longitudinal buckling* perlu dihitung nilai tegangan merata / tegangan aksial dan *bending stress*. Tegangan aksial didapatkan dari perhitungan *scantling calculation* dengan nilai sebesar 16.543 kN/m². Sedangkan untuk mendapatkan nilai σ_b dihitung dengan menggunakan persamaan di atas. Setelah dihitung didapatkan nilai *bending stress* sebesar 0.026960271 N/mm².

Setelah dilakukan pengecekan didapatkan bahwa *longitudinal buckling* pada kapal survei seismik *Geomarin IV* dinyatakan aman karena memenuhi kriteria yang diberikan oleh BKI seperti yang sudah diberikan pada Tabel 4.21.

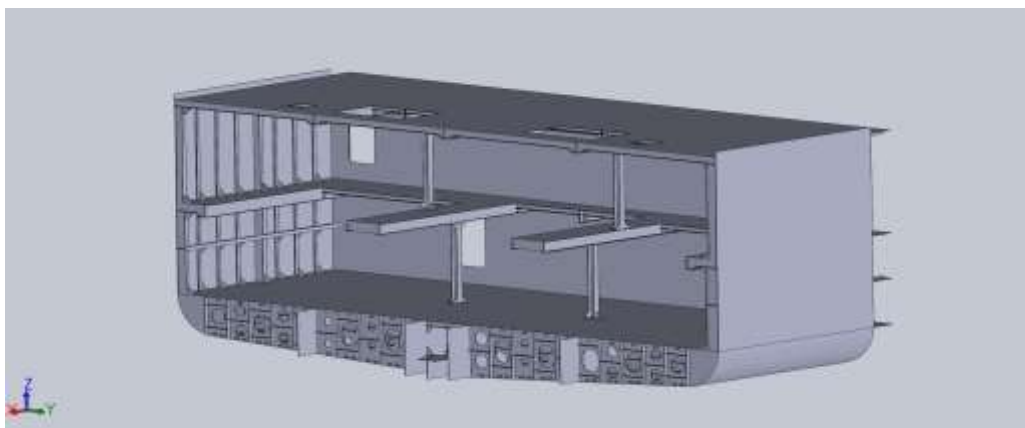
Tabel 4.21. Hasil Pengecekan *Longitudinal Buckling*

	Full Load	Light Load
Longitudinal Buckling Check	0.000203632	0.000259247
	allow	allow

4.12. PEMODELAN LOCAL STRUCTURE

Sebelum bisa dilakukan analisa *ultimate strength* terlebih dahulu harus dilakukan pemodelan *local structure* yang nantinya akan digunakan pada analisa *ultimate strength*. Pada tugas akhir ini struktur yang akan dimodelkan adalah kapal survei seismik *Geomarin IV* tepatnya pada *frame 44* hingga *frame 52*. Adapun bagian pada *frame* tersebut yang akan dimodelkan adalah seluruh bagian mulai dari *bottom* hingga *main deck*. Alasan dipilihnya pemodelan pada *frame 44* hingga *frame 52* dikarenakan adanya kecurigaan bahwa di daerah ini merupakan daerah yang paling rawan pada kapal survei seismik *Geomarin IV* karena ada bagian yang tidak menerus.

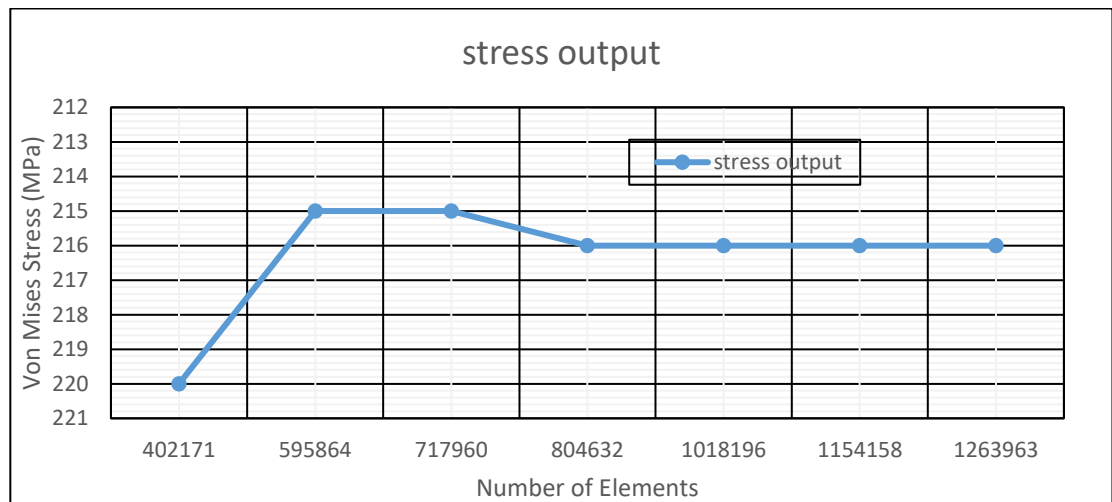
Adapun jenis elemen yang digunakan untuk pemodelan adalah solid dengan menggunakan *meshing* jenis *tetrahedron*. Tumpuan yang diaplikasikan pada model adalah *fixed support* untuk bagian *bulkhead* sedangkan untuk sisi sebaliknya diberikan tumpuan jenis *roll*. Adapun pembebanan yang diberikan pada struktur adalah *shear force* dan *bending moment*. Model *local structure* diberikan pada Gambar 4.28



Gambar 4.28. Model *Local Structure* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

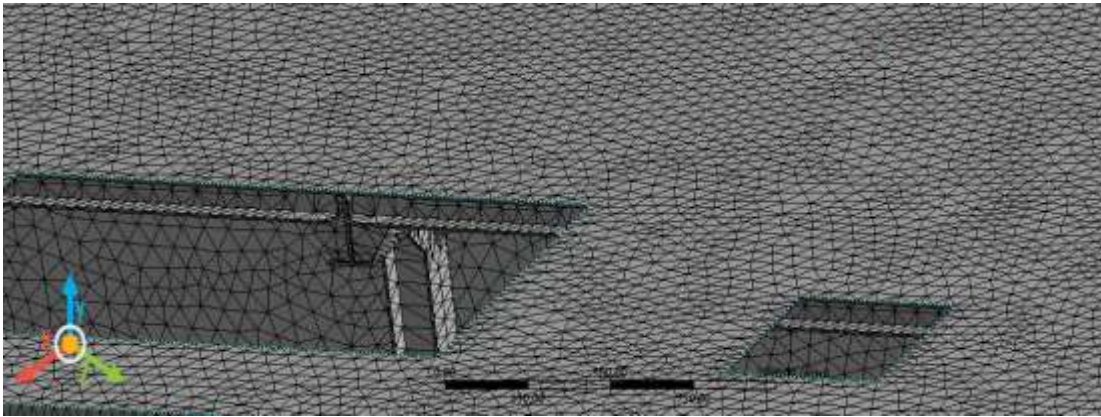
4.13. ANALISA *ULTIMATE STRENGTH*

Langkah pertama yang harus dilakukan pada analisa *ultimate strength* adalah melakukan pengecekan *meshing sensitivity* pada model yang telah dibuat. Hal ini dilakukan agar diperoleh tingkat akurasi yang baik pada *finite element model* sehingga didapatkan hasil analisa yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Pada Tugas Akhir ini, uji sensitivity dilakukan dengan cara memberikan variasi kerapatan pada *meshing*. Berdasarkan variasi kerapatan *meshing* tersebut akan didapatkan hasil *equivalent stress* atau yang lebih dikenal dengan *Von Mises Stress* seperti yang dicantumkan pada Gambar 4.29. Kerapatan *meshing* pada model yang digunakan pada proses analisa ditunjukkan pada Gambar 4.30.



Gambar 4.29. Sensitivitas Model Elemen Hingga

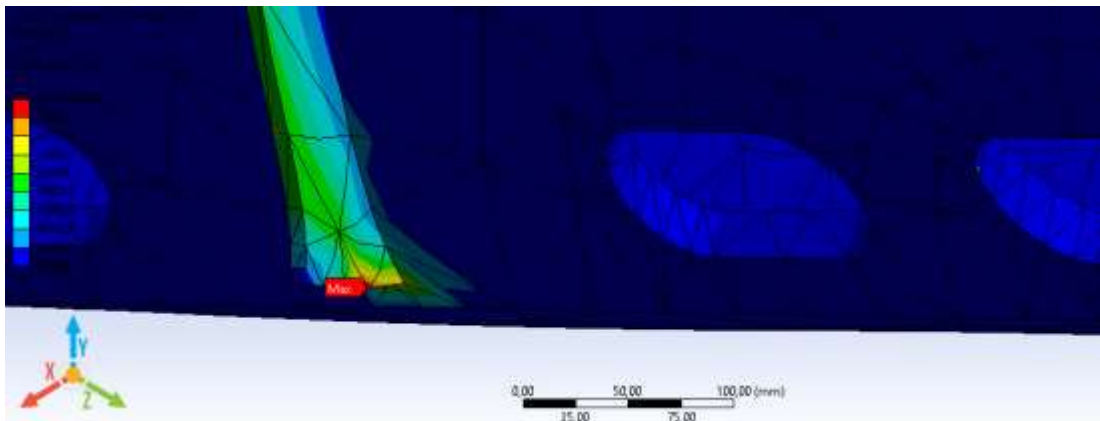
Dalam tugas akhir ini bagian kapal yang dimodelkan adalah lambung kapal mulai dari *bottom* hingga *main deck*. Adapun *frame* yang ditinjau adalah *frame* 44 sampai *frame* 52 dikarenakan diduga terjadi kritis pada daerah ini.



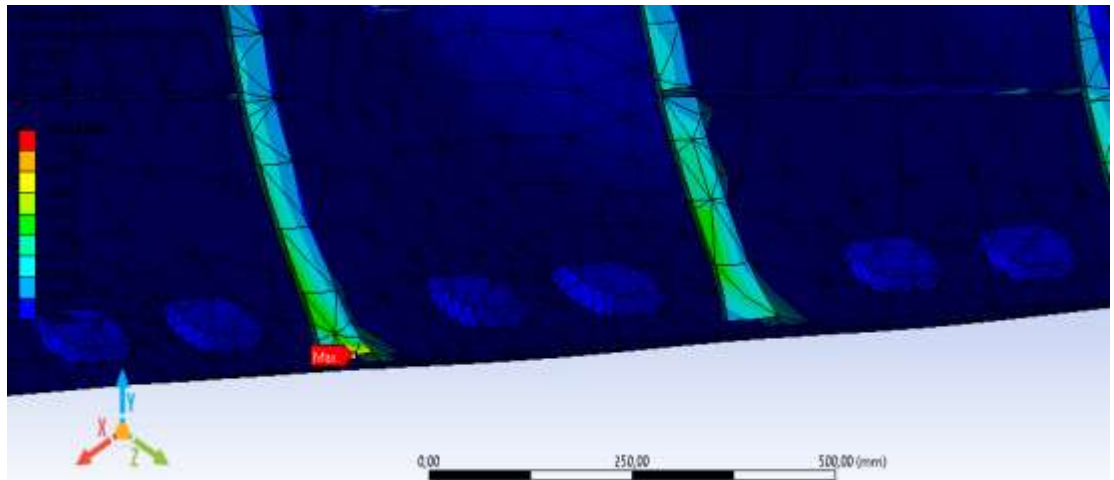
Gambar 4.30. Proses *Meshing* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

Selanjutnya model lambung kapal yang telah selesai menjalani proses *meshing* diberikan gaya dan momen yang telah ditingkatkan ekstremitasnya untuk mengecek kekuatan struktur maksimumnya.

Dari hasil analisa didapatkan stress maksimum yang diterima struktur adalah 22395 MPa pada kondisi *full load* dan 30654 MPa pada kondisi *light load*. Hasil ini lebih rendah dari *allowable stress* yang disyaratkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dengan nilai 95904 MPa sehingga struktur dapat dikatakan aman. Daerah yang mendapatkan *stress* terbesar pada kondisi *full load* diberikan pada Gambar 4.31 sedangkan daerah dengan *stress* terbesar pada kondisi *light load* diberikan pada Gambar 4.32.



Gambar 4.31. Daerah yang Mendapatkan *Stress* Maksimum pada Kondisi *Full Load*



Gambar 4.32. Daerah yang Mendapatkan *Stress* Maksimum pada Kondisi *Light Load*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa – analisa yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan dari tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Hasil analisis respons gerak (RAO) gerak *heave* maksimal kondisi *full load* sebesar 0.977 m/m pada frekuensi 0.05 rad/s dan gerak *pitch* maksimal sebesar 2.774 deg/m pada frekuensi 0.8 rad/s, sedangkan untuk kondisi *light load* RAO gerak *heave* maksimal sebesar 0.973 m/m pada frekuensi 0.05 rad/s dan gerak *pitch* terbesar sebesar 2.925 deg/m pada frekuensi 0.9 rad/s.
2. Analisa statis respons struktur pada kapal di atas gelombang reguler dengan mengabaikan faktor gerakan kapal pada gelombang dengan tinggi 4.0 m didapatkan harga *shear force* sebesar 73.5 MN dan *bending moment* sebesar 5,541.7 MNm untuk kondisi *full load*. Dalam kondisi *light load* harga *shear force* sebesar 159.1 MN dan *bending moment* sebesar 13,687.7 MNm. Sedangkan untuk analisa quasi-statis respons struktur pada kapal di atas gelombang reguler dengan memperhitungkan faktor gerakan kapal pada gelombang dengan tinggi 4.0 m didapatkan harga *shear force* sebesar 135.3 MN dan *bending moment* mencapai 14,392.15 MNm untuk kondisi *full load*. Untuk kondisi *light load* *shear force* terbesar mencapai 185.9 MN dan *bending moment* mencapai 18,187.8 MNm.
3. Analisa respons struktur (*shear force* dan *bending moment*) berdasarkan hasil analisa quasi-statis yang telah dimagnifikasi sebesar dua kali lipat, dengan asumsi equivalent dengan menaikkan tinggi gelombang hingga 8.0 m sehingga melebihi nilai gelombang ekstrem yang berpeluang terjadi di daerah operasi, diperoleh harga *stress* struktur sebesar 22,395 MPa

untuk kondisi *full load* dan 30,654 untuk kondisi *light load*. Kedua harga tersebut masih di bawah harga *allowable stress* dari BKI yaitu 95,904 MPa. Sehingga dapat dikatakan bahwa kapal telah memenuhi persyaratan kekuatan memanjang.

4. Selanjutnya berdasarkan hasil *longitudinal stress* telah diperoleh harga indikator *longitudinal buckling* sebesar 0.000203 untuk kondisi *full load* dan 0.00259 untuk kondisi *light load*. Kedua harga tersebut masih di bawah angka indikator terjadinya *longitudinal buckling* menurut BKI yaitu sama atau lebih dari 1.0. Dengan demikian kapal survei seismik *Geomarin IV* diyakini tidak akan mengalami kegagalan *longitudinal buckling* saat beroperasi meskipun dalam keadaan gelombang ekstrem.

5.2 SARAN

Berikut ini adalah saran yang dapat diberikan untuk menambah pengetahuan dan wawasan serta diharapkan dapat digunakan sebagai acuan studi mengenai kapal survei seismik.

1. Penambahan variasi sudut arah datang gelombang seperti arah 90° (*beam seas*).
2. Penambahan kondisi muatan seperti kondisi 50% *ballast* untuk pengecekan *shear force* dan *bending moment*.
3. Analisa struktur global untuk mendapatkan daerah kritis pada sepanjang bagian kapal.
4. Analisa kekuatan memanjang dan *longitudinal buckling* dengan kondisi *irregular waves*.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, Imran. 2016. *Analisa Kekuatan Struktur Haluan Kapal Survei Seismik Geomarin IV Terhadap Beban Slamming dan Greenwater*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK, ITS, Surabaya.

Ariyanto, S., Djatmiko, E.B., Murtedjo, M., dan Yuda, I.D.G.A.S. 2014. A Study of The Longitudinal Hull Structural Responses on a 35,000 Ton Class Drillship due to Wave Load by the Quasi-Static Approach. *Proc. The 9th International Conference on Marine Technology, MARTEC 2014*. Surabaya. Indonesia.

Bhattacharyya, R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. John Wiley & Sons Inc. New York. USA.

BKI. 2014. *Volume II Rules For Hull*. Biro Klasifikasi Indonesia. Indonesia.

Buslov, V.M. dan Karsan, D.I. 1985, 1986. "Deepwater Platform Designs: An Illustrated Review (3 Parts)". *Ocean Industry*. Oct. 1985 (Part I) pp. 47-52, Dec. 1985 (Part 2) pp. 51-55, Feb. (1986) pp. 53-62.

Chakrabarti, S. K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Computational Mechanics Publications Southampton Boston. USA.

Djatmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS Press. Surabaya. Indonesia.

Djatmiko, E.B. 1995. Identification of SWATH Ship Global Structural Responses Utilizing a Physical Model. *Research Project Report*. LPPM-ITS. Surabaya.

Paik, J.K. dan Thayaballi, A.K. 2003. *Ultimate Limit State Design of Steel Plated Structures*. John Wiley & Sons. USA.

Putra, A.G. *Studi Respon Struktur Lambung Memanjang FPSO Seagood 101 Akibat Beban Gelombang dengan Pendekatan Quasi-Static*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK, ITS, Surabaya.

Rawson, K.J. dan Tupper, E.C. 2001. *Basic Ship Theory Vol. 1*, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.

Yuda, I.D.G.A.S., Djatmiko, E.B., dan Wardhana, W. 2013. Evaluation on the Motion and Operability Aspects in the Design of 35,000 ton Displacement Drilship. *Proc. of Seminar on the Theory and Application in Marine Technology*, SENTA 2013. Surabaya. Indonesia.

LAMPIRAN A

DISTRIBUSI BEBAN

Distribusi Beban LWT

Post	Hull Construction	Superstructure	Deckhouse	Other Construct.	Electrical	Machinery	Hull Outfitting	Survey Equipment	Acc. Furniture	Wall	Roof	Floor	
Fr. -5 - AP	19.756	10.809	6.680	2.526	0.299	2.587	6.274	18.397	0.068				67.397
AP - Fr. 5	19.764	9.209	6.066	0.421	0.299	8.802	6.488	38.659					89.708
Fr. 5 - Fr. 10	20.595	7.755	5.756	0.936	0.299	5.769	1.592	38.009					80.711
Fr. 10 - Fr. 15	27.921	9.217	6.122	0.713	0.299	4.769	9.192	35.828	1.300				95.360
Fr. 15 - Fr. 20	23.382	10.885	5.746	0.275	0.299	8.235	0.524	32.939	1.063	0.126	0.018	0.170	83.663
Fr. 20 - Fr. 25	26.029	10.707	5.969	0.000	0.299	13.435	0.524	22.995	0.279	0.126	0.027	0.256	80.645
Fr. 25 - Fr. 30	30.213	6.694	5.747	0.000	0.299	7.872	0.524	12.199					63.548
Fr. 30 - Fr. 35	22.594	12.473	6.667	0.000	0.299	15.165	0.524	5.763	0.017				63.502
Fr. 35 - Fr. 40	29.347	9.767	15.508	0.000	0.299	10.136	0.524	1.696	0.352				67.628
Fr. 40 - Fr. 45	34.083	12.311	8.030	0.000	0.299	12.244	0.824	1.696	0.498	0.105	0.063	0.602	70.754
Fr. 45 - Fr. 50	30.515	9.854	0.000	0.000	0.299	27.144	1.274	1.696	0.553	0.131	0.105	1.004	72.575
Fr. 50 - Fr. 55	29.437	9.382	4.923	0.000	0.299	27.919	2.582	1.696	0.740	0.237	0.139	1.333	78.687
Fr. 55 - Fr. 60	31.761	7.891	9.548	0.000	0.299	23.769	8.864	1.696	1.335	0.546	0.280	2.691	88.680
Fr. 60 - Fr. 65	39.335	8.096	10.261	0.000	0.299	4.269	6.364	1.696	2.725	0.983	0.397	3.590	78.014
Fr. 65 - Fr. 70	42.537	12.599	12.945	0.000	0.299	2.269	3.300	1.696	3.263	0.905	0.353	3.011	83.177
Fr. 70 - Fr. 75	45.655	12.556	14.166	5.311	0.299	2.269	1.274	1.696	3.260	1.353	0.566	4.931	93.336
Fr. 75 - Fr. 80	35.427	9.675	14.943	5.387	0.299	2.269	1.274	1.696	2.986	1.298	0.600	6.225	82.079
Fr. 80 - Fr. 85	32.025	9.455	17.262	1.794	0.299	9.519	0.524	1.696	2.654	1.787	0.627	5.728	83.369
Fr. 85 - Fr. 90	38.398	11.714	15.418	0.000	0.299	2.269	0.524	1.696	3.716	1.662	0.704	6.139	82.539
Fr. 90 - Fr. 95	32.653	10.766	12.633	0.000	0.299	2.269	0.524	1.696	7.529	1.371	0.626	6.160	76.526
Fr. 95 - Fr. 100	31.058	9.797	7.341	0.000	0.299	2.269	0.524	1.696	4.897	1.088	0.429	3.856	63.253
Fr. 100 - Fr. 105	22.438	12.927	1.382	0.000	0.299	2.769	0.524	1.696	0.391	0.271	0.157	3.161	46.013
Fr. 105 - Fr. 110	14.487	10.885	1.325	0.000	0.299	3.769	2.399	1.696	0.075	0.157			35.091
Fr. 110 - FP	12.187	6.974	1.224	0.000	0.299	1.903	9.649	1.696					33.932
FP - Fr. 119	6.878	5.170	1.606	0.000	0.299	1.356	12.424	1.696					29.428
Total	698.475	247.568	197.264	17.363	7.480	205.040	79.015	233.620	37.699	12.146	5.089	48.856	1789.614

Distribusi Beban DWT pada saat *Full load*

[illegible]

Distribusi Beban Total pada kondisi *Full Load*

Post	LWT	DWT	Total per Frame
Fr. -5 - AP	67.397		67.397
AP - Fr. 5	89.708		89.708
Fr. 5 - Fr. 10	80.711	38.316	119.027
Fr. 10 - Fr. 15	95.360	38.316	133.676
Fr. 15 - Fr. 20	83.663	3.314	86.977
Fr. 20 - Fr. 25	80.645	8.154	88.799
Fr. 25 - Fr. 30	63.548	13.365	76.912
Fr. 30 - Fr. 35	63.502	29.803	93.305
Fr. 35 - Fr. 40	67.628	29.803	97.430
Fr. 40 - Fr. 45	70.754	31.831	102.584
Fr. 45 - Fr. 50	72.575	39.943	112.518
Fr. 50 - Fr. 55	78.687	40.099	118.786
Fr. 55 - Fr. 60	88.680	40.333	129.013
Fr. 60 - Fr. 65	78.014	71.462	149.476
Fr. 65 - Fr. 70	83.177	92.215	175.392
Fr. 70 - Fr. 75	93.336	55.573	148.909
Fr. 75 - Fr. 80	82.079	133.732	215.810
Fr. 80 - Fr. 85	83.369	38.936	122.305
Fr. 85 - Fr. 90	82.539	99.618	182.158
Fr. 90 - Fr. 95	76.526	114.789	191.315
Fr. 95 - Fr. 100	63.253	97.514	160.766
Fr. 100 - Fr. 105	46.013	0.366	46.379
Fr. 105 - Fr. 110	35.091		35.091
Fr. 110 - FP	33.932		33.932
FP - Fr. 119	29.428		29.428
Total	1789.614	1017.482	2807.096

Distribusi Beban DWT pada saat *Light Load*

Post	F.O.T No. 1	F.O.T No.2	F.O.T No.3	F.O.T No.4	F.O.T No.5	F.O.T Day Tank	F.W.T. No. 1	F.W.T. No. 2	F.W.T. No. 3	F.W.T. No. 4	Lub Oil Tk	F.O. Drain Tk	Bilge Tk	Sludge Tk	W.B.T. No. 1	W.B.T. No. 2	F.P.T	Crew & Scientist	
FR.-5 - AP																			0
AP - Fr. 5																			0
Fr. 5 - Fr. 10					0														0
Fr. 10 - Fr. 15					0														0
Fr. 15 - Fr. 20						1.443714286					1.870666667	0							3.314380952
Fr. 20 - Fr. 25						7.218571429					0.935333333		0	0					8.153904762
Fr. 25 - Fr. 30				0		1.443714286													1.443714286
Fr. 30 - Fr. 35				0															0
Fr. 35 - Fr. 40				0															0
Fr. 40 - Fr. 45			0	0															0
Fr. 45 - Fr. 50				0															0
Fr. 50 - Fr. 55		0	0																0
Fr. 55 - Fr. 60		0																	0
Fr. 60 - Fr. 65	14.16163636	0																0.365853659	14.52749002
Fr. 65 - Fr. 70	23.60272727																	0.609756098	24.21248337
Fr. 70 - Fr. 75	14.16163636																	0.609756098	14.77139246
Fr. 75 - Fr. 80										0								0.609756098	0.609756098
Fr. 80 - Fr. 85									0									0.609756098	0.609756098
Fr. 85 - Fr. 90								0	0									0.609756098	0.609756098
Fr. 90 - Fr. 95								0										0.609756098	0.609756098
Fr. 95 - Fr. 100							48.371	0										0.609756098	48.9807561
Fr. 100 - Fr. 105															47.2			0.365853659	47.56585366
Fr. 105 - Fr. 110																			0
Fr. 110 - FP																	32.274		32.274
FP - Fr. 119																	32.274		32.274
Total	51.926	0	0	0	0	10.106	48.371	0	0	0	2.806	0	0	0	47.2	0	64.548	5	229.957

Distribusi Beban Total pada kondisi *Light Load*

Post	LWT	DWT	Total per Frame
Fr. -5 - AP	67.397	0.000	67.397
AP - Fr. 5	89.708	0.000	89.708
Fr. 5 - Fr. 10	80.711	0.000	80.711
Fr. 10 - Fr. 15	95.360	0.000	95.360
Fr. 15 - Fr. 20	83.663	3.314	86.977
Fr. 20 - Fr. 25	80.645	8.154	88.799
Fr. 25 - Fr. 30	63.548	1.444	64.991
Fr. 30 - Fr. 35	63.502	0.000	63.502
Fr. 35 - Fr. 40	67.628	0.000	67.628
Fr. 40 - Fr. 45	70.754	0.000	70.754
Fr. 45 - Fr. 50	72.575	0.000	72.575
Fr. 50 - Fr. 55	78.687	0.000	78.687
Fr. 55 - Fr. 60	88.680	0.000	88.680
Fr. 60 - Fr. 65	78.014	14.527	92.541
Fr. 65 - Fr. 70	83.177	24.212	107.390
Fr. 70 - Fr. 75	93.336	14.771	108.108
Fr. 75 - Fr. 80	82.079	0.610	82.688
Fr. 80 - Fr. 85	83.369	0.610	83.979
Fr. 85 - Fr. 90	82.539	0.610	83.149
Fr. 90 - Fr. 95	76.526	0.610	77.136
Fr. 95 - Fr. 100	63.253	48.981	112.234
Fr. 100 - Fr. 105	46.013	47.566	93.579
Fr. 105 - Fr. 110	35.091	0.000	35.091
Fr. 110 - FP	33.932	32.274	66.206
FP - Fr. 119	29.428	32.274	61.702
Total	1789.614	229.957	2019.571

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN SHEAR FORCE

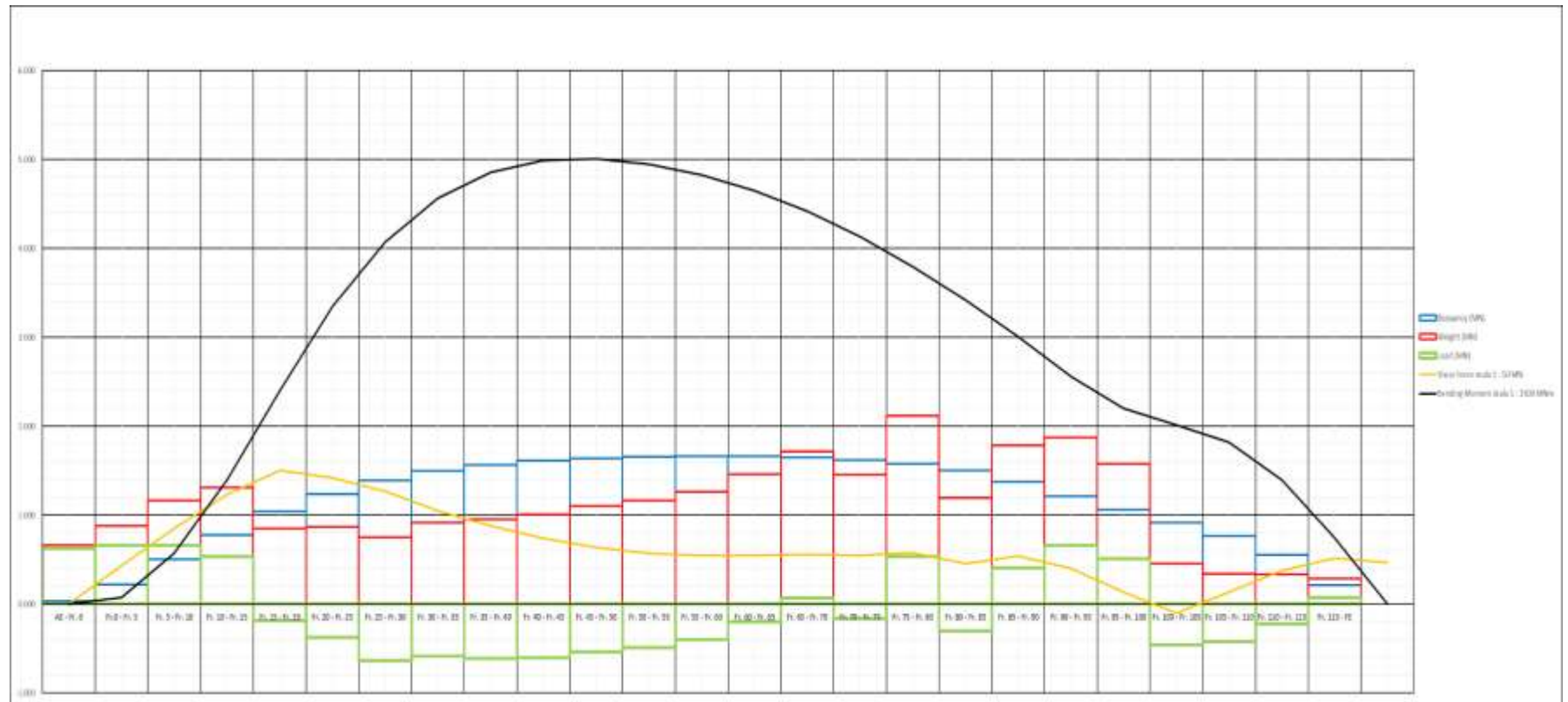
DAN BENDING MOMENT DI

GELOMBANG REGULER

Full Load Stillwater Condition

			Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	$\Sigma f(x)$	Mid $\Sigma f(x)$ (MN)	BM (MN m)	ΣBM	Correction	BM
		Area	I	II	III = II - I	IV = III x b		IV	IV x b			
							0			0		0
1	-5-AP	7.84	0.035	0.660	0.626	21.629	21.629	10.814	373.748	373.748	265.381	108.367
2	AP-5	45.32	0.219	0.879	0.660	20.909	42.538	32.083	1016.404	1390.152	530.762	859.391
3	5-10	102.77	0.507	1.166	0.660	18.998	61.536	52.037	1498.669	2888.821	796.142	2092.679
4	10-15	157.31	0.776	1.310	0.534	13.831	75.367	68.452	1774.265	4663.086	1061.523	3601.563
5	15-20	210.72	1.041	0.852	-0.189	-4.356	71.011	73.189	1686.277	6349.363	1326.904	5022.459
6	20-25	251.29	1.241	0.870	-0.371	-7.480	63.532	67.271	1356.192	7705.555	1592.285	6113.270
7	25-30	281.56	1.391	0.754	-0.637	-11.003	52.528	58.030	1002.757	8708.312	1857.666	6850.647
8	30-35	303.52	1.499	0.914	-0.585	-8.418	44.110	48.319	695.798	9404.110	2123.046	7281.063
9	35-40	317.54	1.568	0.955	-0.613	-7.062	37.048	40.579	467.471	9871.581	2388.427	7483.153
10	40-45	326.39	1.611	1.005	-0.606	-5.237	31.811	34.430	297.472	10169.052	2653.808	7515.244
11	45-50	332.06	1.639	1.103	-0.537	-3.091	28.720	30.266	174.331	10343.383	2919.189	7424.194
12	50-55	335.27	1.655	1.164	-0.491	-1.414	27.306	28.013	80.678	10424.062	3184.570	7239.492
13	55-60	336.73	1.662	1.264	-0.398	0.000	27.306	27.306	0.000	10424.062	3449.951	6974.111
14	60-65	336.8	1.663	1.465	-0.198	0.570	27.876	27.591	-79.463	10344.599	3715.331	6629.267
15	65-70	334.08	1.649	1.719	0.070	-0.400	27.476	27.676	-159.415	10185.184	3980.712	6204.472
16	70-75	328.58	1.622	1.459	-0.163	1.408	28.884	28.180	-243.474	9941.710	4246.093	5695.617
17	75-80	319.55	1.578	2.115	0.537	-6.187	22.697	25.790	-297.106	9644.604	4511.474	5133.130
18	80-85	304.16	1.502	1.199	-0.304	4.373	27.070	24.884	-358.326	9286.278	4776.855	4509.423
19	85-90	278.75	1.377	1.785	0.408	-7.057	20.014	23.542	-406.805	8879.473	5042.235	3837.238
20	90-95	246.02	1.214	1.875	0.661	-13.323	6.690	13.352	-269.172	8610.301	5307.616	3302.685
21	95-100	215.22	1.062	1.576	0.513	-11.822	-5.132	0.779	-17.946	8592.355	5572.997	3019.358
22	100-105	185.57	0.916	0.455	-0.462	11.963	6.831	0.849	-22.015	8570.339	5838.378	2731.962
23	105-110	154.79	0.765	0.344	-0.421	12.123	18.954	12.892	-371.299	8199.040	6103.759	2095.281
24	110-FP	111.51	0.554	0.333	-0.222	7.025	25.979	22.466	-711.729	7487.311	6369.139	1118.171
25	FP-119	41.56	0.213	0.288	0.075	-2.606	23.373	24.676	-852.791	6634.520	6634.520	0.000

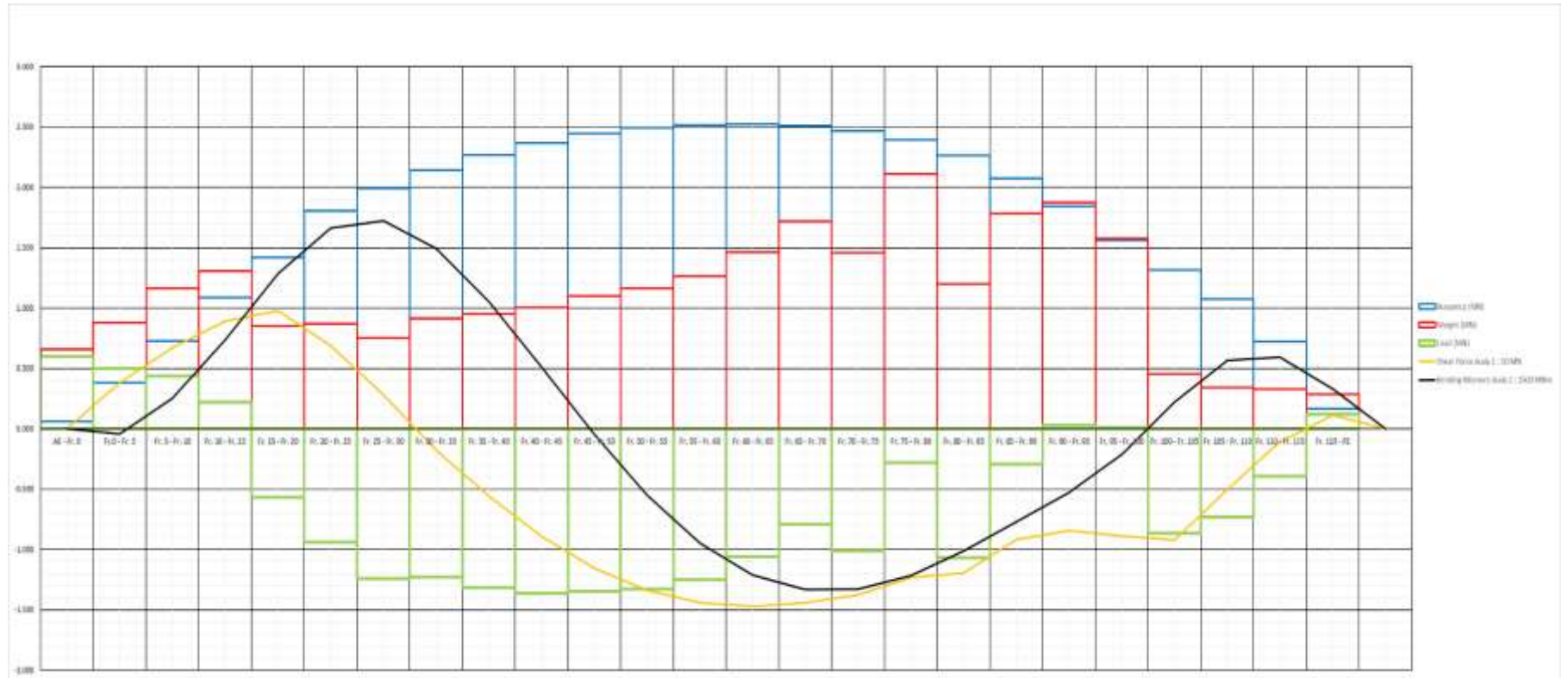
Kurva Shear Force dan Bending Moment pada kondisi Full Load Stillwater



Full Load Hogging Condition

			Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	Σf(x)	Correction	SF	Mid Σf(x) (MN)	BM (MN m)	ΣBM	Correction	BM
		Area	I	II	III = II - I	IV = III x b				IV	IV x b			
							0			0		0		0
1	-5-AP	14.475	0.062	0.660	0.598	20.669	20.669	1.443	19.226	9.613	332.223	332.223	395.820	-63.598
2	AP-5	76.59	0.381	0.879	0.498	15.778	36.446	2.885	33.561	26.393	836.142	1168.364	791.640	376.724
3	5-10	148.2	0.728	1.166	0.438	12.614	49.060	4.328	44.732	39.146	1127.416	2295.780	1187.461	1108.320
4	10-15	220.635	1.088	1.310	0.222	5.755	54.815	5.771	49.045	46.888	1215.342	3511.123	1583.281	1927.842
5	15-20	287.61	1.420	0.852	-0.567	-13.072	41.743	7.214	34.530	41.787	962.776	4473.899	1979.101	2494.798
6	20-25	359.64	1.808	0.870	-0.938	-18.905	22.839	8.656	14.183	24.356	491.020	4964.919	2374.921	2589.998
7	25-30	402.72	1.995	0.754	-1.241	-21.452	1.386	10.099	-8.712	2.735	47.261	5012.181	2770.741	2241.439
8	30-35	433.83	2.144	0.914	-1.230	-17.708	-16.322	11.542	-27.864	-18.288	-263.348	4748.832	3166.562	1582.271
9	35-40	459.525	2.268	0.955	-1.313	-15.129	-31.451	12.984	-44.435	-36.149	-416.440	4332.392	3562.382	770.011
10	40-45	479.745	2.368	1.005	-1.363	-11.776	-43.226	14.427	-57.653	-51.044	-441.021	3891.372	3958.202	-66.830
11	45-50	495.36	2.448	1.103	-1.345	-7.748	-50.974	15.870	-66.844	-62.249	-358.552	3532.819	4354.022	-821.203
12	50-55	505.02	2.493	1.164	-1.329	-3.828	-54.802	17.312	-72.114	-69.479	-200.100	3332.719	4749.842	-1417.123
13	55-60	509.625	2.516	1.264	-1.252	0.000	-54.802	18.755	-73.557	-72.836	0.000	3332.719	5145.663	-1812.944
14	60-65	511.71	2.526	1.465	-1.061	3.056	-51.746	20.198	-71.943	-72.750	209.521	3542.240	5541.483	-1999.243
15	65-70	508.59	2.511	1.719	-0.792	4.561	-47.185	21.641	-68.825	-70.384	405.414	3947.653	5937.303	-1989.649
16	70-75	500.205	2.469	1.459	-1.010	8.725	-38.460	23.083	-61.543	-65.184	563.191	4510.845	6333.123	-1822.278
17	75-80	485.64	2.394	2.115	-0.279	3.217	-35.243	24.526	-59.769	-60.656	698.757	5209.601	6728.943	-1519.342
18	80-85	459.03	2.267	1.199	-1.068	15.382	-19.860	25.969	-45.829	-52.799	760.304	5969.906	7124.763	-1154.858
19	85-90	420.135	2.076	1.785	-0.291	5.031	-14.829	27.411	-42.241	-44.035	760.923	6730.829	7520.584	-789.754
20	90-95	372.03	1.845	1.875	0.030	-0.601	-15.430	28.854	-44.284	-43.262	872.170	7603.000	7916.404	-313.404
21	95-100	317.085	1.566	1.576	0.009	-0.216	-15.646	30.297	-45.942	-45.113	1039.410	8642.409	8312.224	330.185
22	100-105	267.3	1.319	0.455	-0.864	22.395	6.750	31.740	-24.990	-35.466	919.284	9561.694	8708.044	853.649
23	105-110	217.995	1.076	0.344	-0.732	21.081	27.831	33.182	-5.352	-15.171	436.918	9998.612	9103.864	894.747
24	110-FP	145.02	0.726	0.333	-0.394	12.467	40.297	34.625	5.673	0.161	-5.085	9993.527	9499.685	493.842
25	FP-119	36.87	0.166	0.288	0.122	-4.230	36.068	36.068	0.000	2.836	-98.022	9895.505	9895.505	0.000

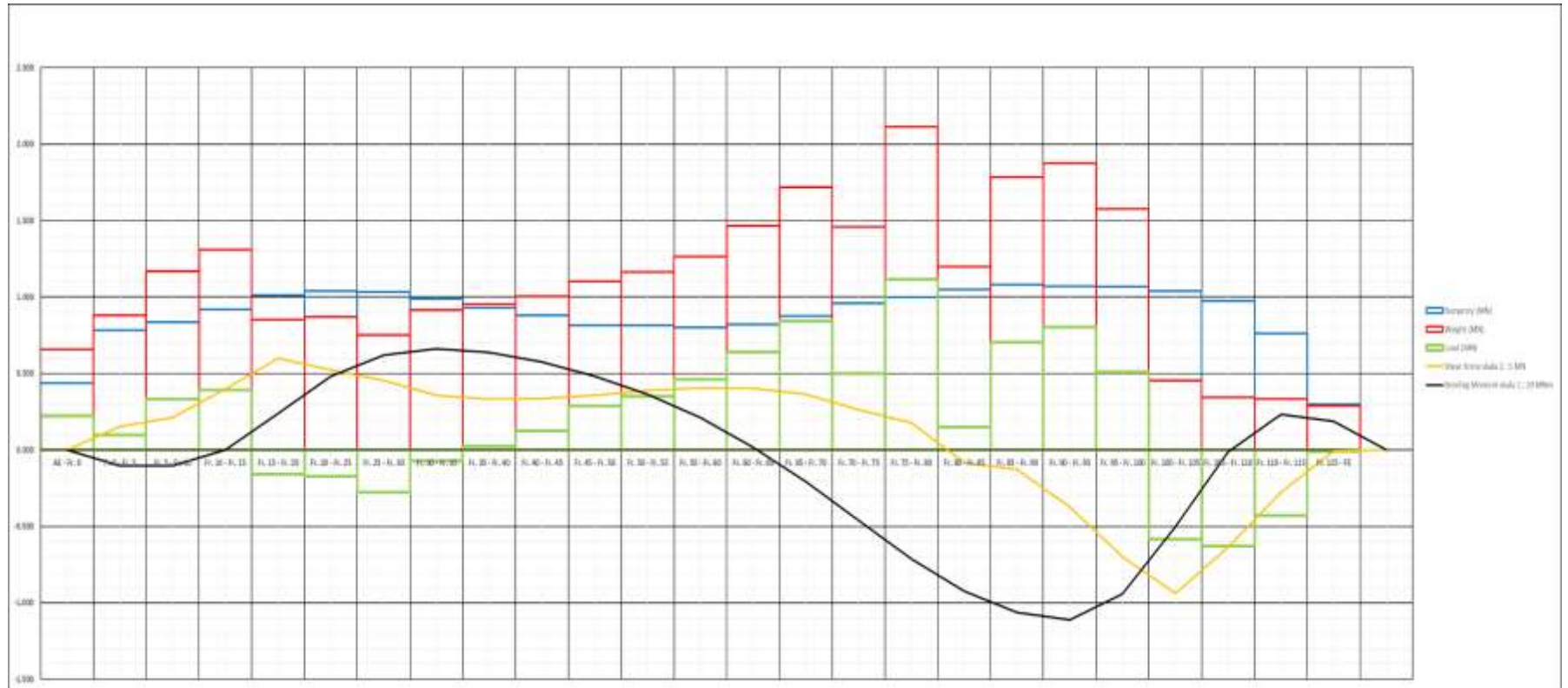
Kurva Shear Force dan Bending Moment pada kondisi Full Load Hogging



Full Load Sagging Condition

			Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	$\Sigma f(x)$	Correction	SF	Mid $\Sigma f(x)$ (MN)	BM (MN m)	ΣBM	Correction	BM
		Area	I	II	III = II - I	IV = III x b				IV	IV x b			
							0			0		0		0
1	-5-AP	124.47	0.437	0.660	0.223	7.708	7.708	0.109	7.599	3.799	131.310	131.310	286.537	-155.227
2	AP-5	158.1	0.783	0.879	0.096	3.051	10.759	0.218	10.541	9.070	287.336	418.646	573.075	-154.429
3	5-10	169.755	0.835	1.166	0.332	9.553	20.313	0.327	19.985	15.263	439.579	858.224	859.612	-1.388
4	10-15	186.825	0.919	1.310	0.391	10.146	30.459	0.436	30.022	25.004	648.102	1506.326	1146.149	360.177
5	15-20	204.69	1.010	0.852	-0.158	-3.641	26.818	0.545	26.272	28.147	648.516	2154.843	1432.687	722.156
6	20-25	210.135	1.041	0.870	-0.171	-3.445	23.373	0.654	22.718	24.495	493.826	2648.668	1719.224	929.445
7	25-30	208.02	1.031	0.754	-0.278	-4.796	18.577	0.763	17.813	20.266	350.194	2998.863	2005.761	993.101
8	30-35	199.545	0.986	0.914	-0.072	-1.038	17.539	0.872	16.666	17.240	248.253	3247.116	2292.298	954.817
9	35-40	188.25	0.930	0.955	0.025	0.289	17.827	0.982	16.846	16.756	193.030	3440.145	2578.836	861.309
10	40-45	177.735	0.880	1.005	0.125	1.083	18.911	1.091	17.820	17.333	149.757	3589.902	2865.373	724.529
11	45-50	166.305	0.816	1.103	0.287	1.651	20.561	1.200	19.361	18.591	107.083	3696.985	3151.910	545.075
12	50-55	164.925	0.814	1.164	0.350	1.009	21.570	1.309	20.262	19.812	57.057	3754.042	3438.448	315.595
13	55-60	162.465	0.801	1.264	0.463	0.000	21.570	1.418	20.153	20.207	0.000	3754.042	3724.985	29.057
14	60-65	166.785	0.823	1.465	0.642	-1.849	19.721	1.527	18.194	19.173	-55.220	3698.823	4011.522	-312.700
15	65-70	177.735	0.877	1.719	0.842	-4.850	14.872	1.636	13.236	15.715	-90.518	3608.305	4298.060	-689.755
16	70-75	194.88	0.961	1.459	0.498	-4.302	10.569	1.745	8.824	11.030	-95.299	3513.005	4584.597	-1071.592
17	75-80	202.47	0.998	2.115	1.117	-12.864	-2.294	1.854	-4.148	2.338	-26.934	3486.071	4871.134	-1385.063
18	80-85	212.4	1.049	1.199	0.150	-2.160	-4.454	1.963	-6.418	-5.283	76.074	3562.145	5157.672	-1595.527
19	85-90	218.82	1.082	1.785	0.703	-12.151	-16.606	2.072	-18.678	-12.548	216.823	3778.967	5444.209	-1665.242
20	90-95	217.215	1.071	1.875	0.804	-16.215	-32.821	2.181	-35.002	-26.840	541.093	4320.060	5730.746	-1410.686
21	95-100	216.135	1.067	1.576	0.509	-11.725	-44.546	2.290	-46.837	-40.919	942.782	5262.842	6017.284	-754.441
22	100-105	209.865	1.040	0.455	-0.585	15.171	-29.375	2.399	-31.775	-39.306	1018.802	6281.644	6303.821	-22.177
23	105-110	197.1	0.974	0.344	-0.630	18.134	-11.241	2.508	-13.750	-22.762	655.551	6937.195	6590.358	346.837
24	110-FP	152.1	0.762	0.333	-0.429	13.604	2.363	2.617	-0.255	-7.002	221.833	7159.028	6876.895	282.132
25	FP-119	57.045	0.299	0.288	-0.011	0.364	2.727	2.727	0.000	-0.127	4.405	7163.433	7163.433	0.000

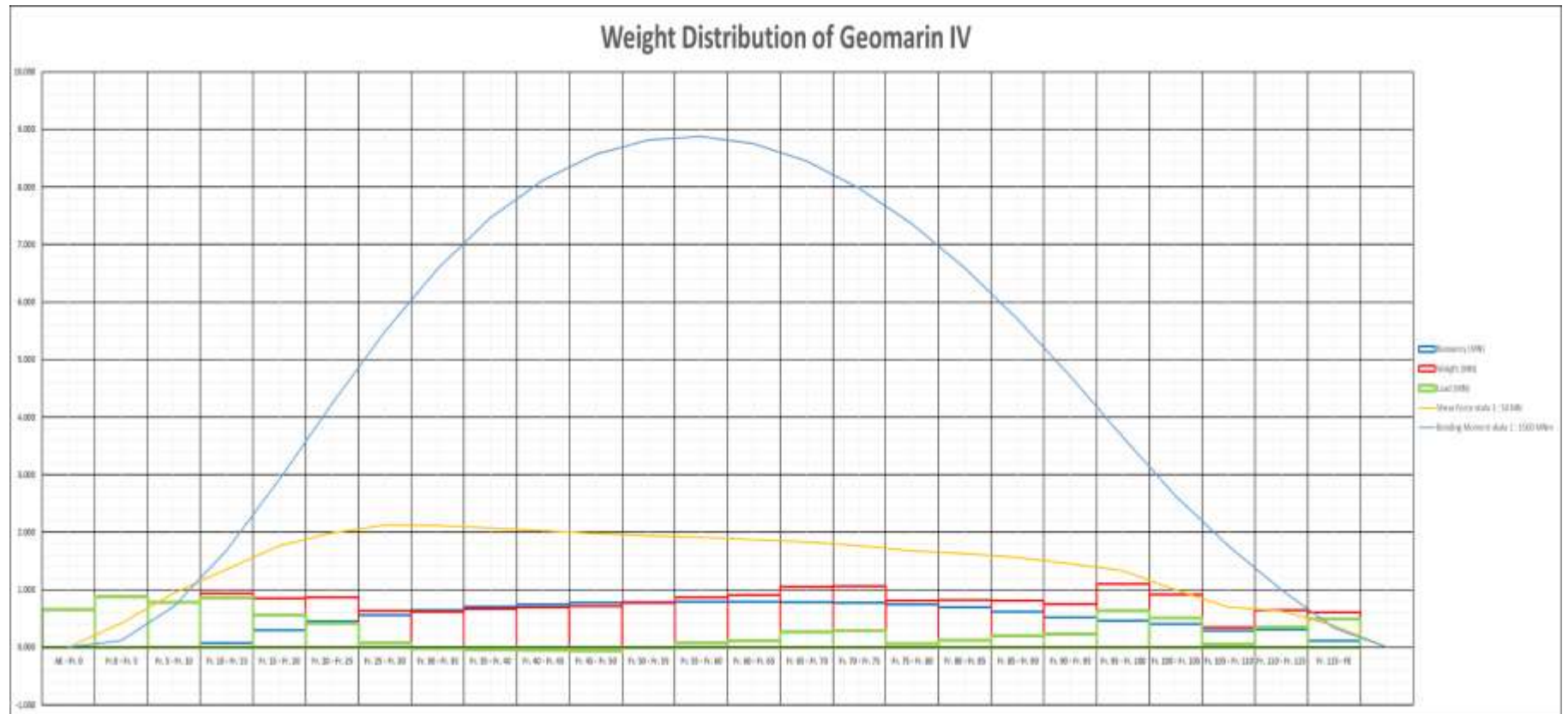
Kurva Shear Force dan Bending Moment pada kondisi Full Load Sagging



Light Load Stillwater Condition

			Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	$\Sigma f(x)$	Correction	SF	Mid $\Sigma f(x)$ (M)	BM (MN m)	ΣBM	Correction	BM
		Area	I	II	III = II - I	IV = III x b				IV	IV x b			
							0		0			0		0
1	-5-0	0	0.000	0.660	0.660	22.827	22.827	1.744	21.083	10.541	364.307	364.307	189.509	174.798
2	0-5	0	0.000	0.879	0.879	27.851	50.678	3.488	47.190	34.136	1081.434	1445.740	379.018	1066.722
3	5-10	2.14	0.010	0.791	0.781	22.493	73.171	5.232	67.939	57.564	1657.856	3103.596	568.527	2535.069
4	10-15	16.14	0.075	0.935	0.859	22.268	95.439	6.976	88.463	78.201	2026.973	5130.569	758.036	4372.533
5	15-20	59.45	0.297	0.852	0.555	12.793	108.232	8.720	99.513	93.988	2165.480	7296.049	947.545	6348.504
6	20-25	92.01	0.455	0.870	0.416	8.377	116.609	10.464	106.145	102.829	2073.031	9369.079	1137.054	8232.026
7	25-30	114.03	0.563	0.637	0.074	1.274	117.883	12.208	105.676	105.910	1830.133	11199.212	1326.563	9872.649
8	30-35	130.81	0.646	0.622	-0.024	-0.343	117.540	13.952	103.589	104.632	1506.703	12705.915	1516.072	11189.843
9	35-40	142.57	0.704	0.663	-0.041	-0.476	117.064	15.696	101.369	102.479	1180.555	13886.469	1705.581	12180.889
10	40-45	150.55	0.743	0.693	-0.050	-0.432	116.632	17.440	99.193	100.281	866.425	14752.895	1895.090	12857.805
11	45-50	155.74	0.769	0.711	-0.058	-0.332	116.300	19.184	97.116	98.154	565.370	15318.265	2084.599	13233.666
12	50-55	158.94	0.785	0.771	-0.014	-0.039	116.261	20.928	95.333	96.225	277.127	15595.392	2274.108	13321.284
13	55-60	160.68	0.793	0.869	0.076	0.000	116.261	22.672	93.589	94.461	0.000	15595.392	2463.617	13131.775
14	60-65	160.84	0.794	0.907	0.113	-0.325	115.936	24.416	91.520	92.555	-266.558	15328.834	2653.126	12675.708
15	65-70	159.48	0.787	1.052	0.265	-1.527	114.409	26.159	88.250	89.885	-517.738	14811.096	2842.635	11968.461
16	70-75	157.3	0.774	1.059	0.286	-2.469	111.940	27.903	84.037	86.143	-744.279	14066.816	3032.144	11034.673
17	75-80	151.64	0.746	0.810	0.064	-0.740	111.201	29.647	81.553	82.795	-953.800	13113.017	3221.653	9891.364
18	80-85	140.87	0.696	0.823	0.127	-1.830	109.371	31.391	77.979	79.766	-1148.635	11964.382	3411.162	8553.220
19	85-90	125.15	0.618	0.815	0.197	-3.400	105.971	33.135	72.835	75.407	-1303.037	10661.345	3600.671	7060.674
20	90-95	106.59	0.525	0.756	0.231	-4.659	101.312	34.879	66.432	69.634	-1403.816	9257.528	3790.180	5467.349
21	95-100	92.96	0.459	1.100	0.641	-14.774	86.537	36.623	49.914	58.173	-1340.309	7917.219	3979.689	3937.530
22	100-105	82.37	0.406	0.917	0.511	-13.238	73.300	38.367	34.932	42.423	-1099.608	6817.611	4169.198	2648.414
23	105-110	63.82	0.286	0.344	0.058	-1.674	71.626	40.111	31.515	33.224	-956.839	5860.773	4358.707	1502.066
24	110-115	60.8	0.304	0.649	0.345	-10.935	60.691	41.855	18.836	25.175	-797.559	5063.213	4548.216	514.998
25	115-119	22.39	0.110	0.605	0.495	-17.092	43.599	43.599	0.000	9.418	-325.489	4737.725	4737.725	0.000

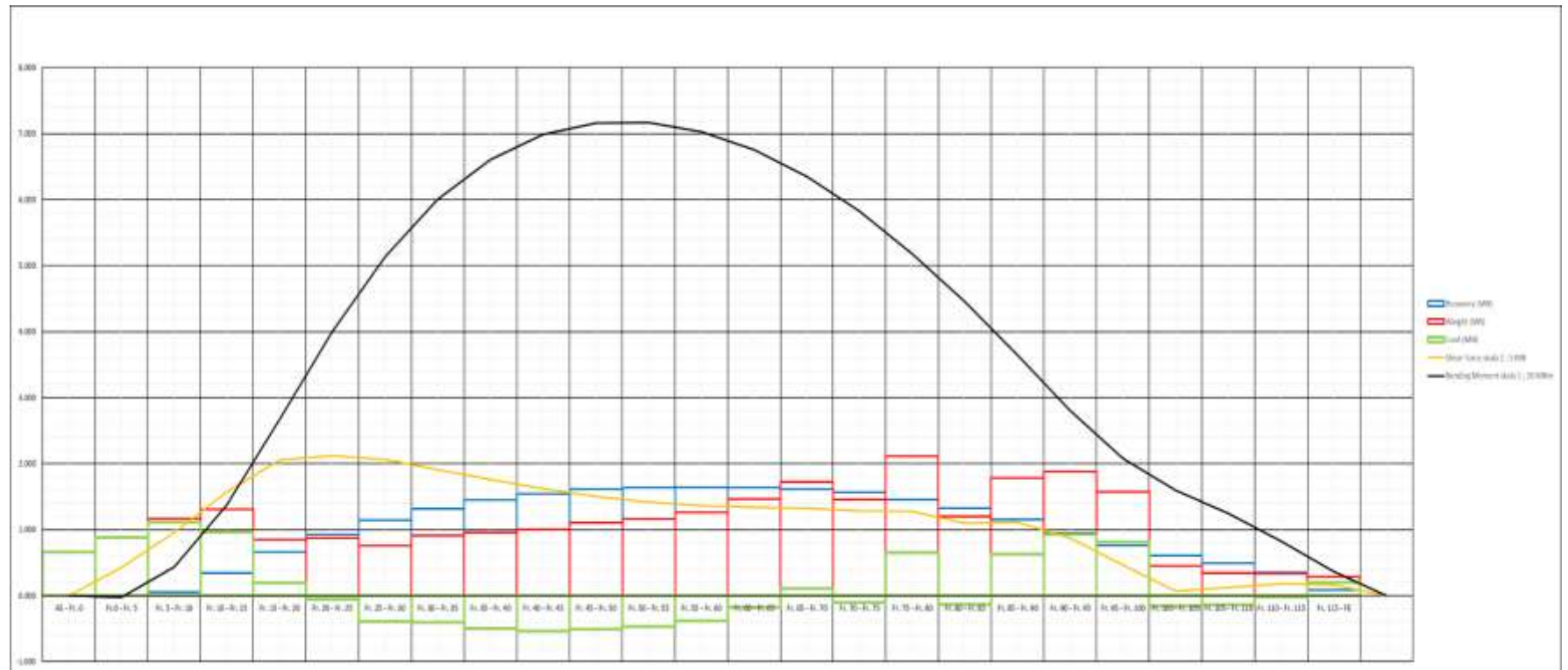
Kurva Shear Force dan Bending Moment pada kondisi Light Load Stillwater



Light Load Hogging Condition

			Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	Σf(x)	Correction	SF	Mid Σf(x) (M	BM (MN m)	ΣBM	Correction	BM
		Area	I	II	III = II - I	IV = III x b				IV	IV x b			
							0		0			0		0
1	-5-AP	0	0.000	0.660	0.660	22.827	22.827	1.301	21.526	10.763	371.962	371.962	411.227	-39.265
2	AP-5	0	0.000	0.879	0.879	27.851	50.678	2.602	48.076	34.801	1102.485	1474.447	822.453	651.994
3	5-10	11.385	0.052	1.166	1.115	32.099	82.777	3.903	78.874	63.475	1828.078	3302.525	1233.680	2068.845
4	10-15	68.445	0.340	1.310	0.970	25.131	107.908	5.204	102.704	90.789	2353.253	5655.778	1644.907	4010.871
5	15-20	133.32	0.658	0.852	0.194	4.471	112.379	6.505	105.874	104.289	2402.821	8058.599	2056.134	6002.465
6	20-25	187.425	0.928	0.870	-0.058	-1.173	111.206	7.806	103.401	104.637	2109.490	10168.088	2467.360	7700.728
7	25-30	231.465	1.144	0.754	-0.391	-6.751	104.455	9.107	95.348	99.375	1717.192	11885.281	2878.587	9006.694
8	30-35	267.675	1.320	0.914	-0.406	-5.841	98.614	10.408	88.206	91.777	1321.595	13206.876	3289.814	9917.062
9	35-40	294.075	1.451	0.955	-0.496	-5.718	92.896	11.709	81.187	84.697	975.707	14182.583	3701.040	10481.543
10	40-45	313.17	1.546	1.005	-0.540	-4.669	88.227	13.010	75.217	78.202	675.666	14858.249	4112.267	10745.982
11	45-50	326.655	1.613	1.103	-0.510	-2.937	85.290	14.311	70.979	73.098	421.045	15279.294	4523.494	10755.800
12	50-55	331.275	1.636	1.164	-0.471	-1.358	83.932	15.612	68.321	69.650	200.592	15479.886	4934.720	10545.166
13	55-60	332.835	1.643	1.264	-0.379	0.000	83.932	16.912	67.020	67.670	0.000	15479.886	5345.947	10133.939
14	60-65	331.11	1.635	1.465	-0.170	0.489	84.421	18.213	66.208	66.614	-191.847	15288.039	5757.174	9530.865
15	65-70	326.49	1.612	1.719	0.107	-0.616	83.805	19.514	64.291	65.249	-375.835	14912.204	6168.401	8743.803
16	70-75	316.305	1.564	1.459	-0.105	0.908	84.713	20.815	63.898	64.094	-553.773	14358.431	6579.627	7778.803
17	75-80	295.38	1.458	2.115	0.657	-7.565	77.148	22.116	55.031	59.464	-685.030	13673.401	6990.854	6682.547
18	80-85	269.67	1.328	1.199	-0.130	1.870	79.017	23.417	55.600	55.316	-796.546	12876.855	7402.081	5474.775
19	85-90	234.18	1.157	1.785	0.628	-10.859	68.158	24.718	43.440	49.520	-855.705	12021.150	7813.307	4207.843
20	90-95	191.625	0.948	1.875	0.927	-18.694	49.464	26.019	23.445	33.442	-674.197	11346.953	8224.534	3122.419
21	95-100	155.16	0.764	1.576	0.812	-18.704	30.760	27.320	3.440	13.442	-309.714	11037.240	8635.761	2401.479
22	100-105	124.23	0.608	0.455	-0.154	3.984	34.744	28.621	6.123	4.781	-123.933	10913.307	9046.987	1866.319
23	105-110	99.78	0.488	0.344	-0.144	4.157	38.901	29.922	8.979	7.551	-217.462	10695.844	9458.214	1237.630
24	110-FP	70.065	0.350	0.333	-0.018	0.563	39.464	31.223	8.241	8.610	-272.768	10423.077	9869.441	553.636
25	FP-119	19.08	0.088	0.288	0.201	-6.940	32.524	32.524	0.000	4.121	-142.409	10280.668	10280.668	0.000

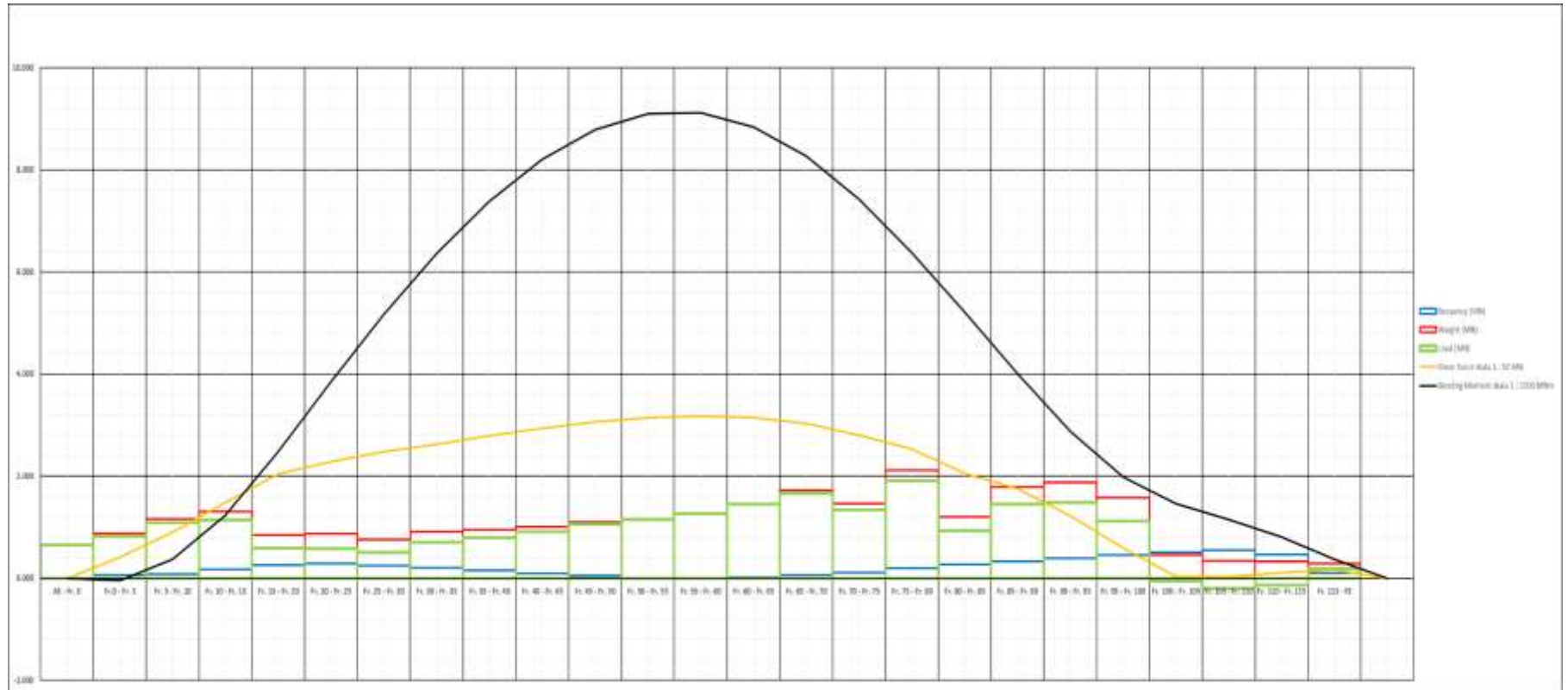
Kurva Shear Force dan Bending Moment pada kondisi Light Load Hogging



Light Load Sagging Condition

			Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	$\Sigma f(x)$	Correction	SF	Mid $\Sigma f(x)$ (M)	BM (MN m)	ΣBM	Correction	BM
		Area	I	II	III = II - I	IV = III x b				IV	IV x b			
							0		0			0		0
1	-5-AP	2.49	0.011	0.660	0.649	22.437	22.437	1.745	20.692	10.346	357.562	357.562	422.001	-64.439
2	AP-5	11.46	0.061	0.879	0.818	25.903	48.340	3.490	44.850	32.771	1038.195	1395.757	844.001	551.756
3	5-10	16.2	0.079	1.166	1.088	31.333	79.673	5.235	74.438	59.644	1717.755	3113.512	1266.002	1847.510
4	10-15	34.275	0.170	1.310	1.140	29.553	109.227	6.980	102.247	88.342	2289.833	5403.345	1688.003	3715.342
5	15-20	52.53	0.261	0.852	0.592	13.635	122.861	8.725	114.136	108.191	2492.726	7896.071	2110.003	5786.068
6	20-25	57.945	0.286	0.870	0.585	11.786	134.647	10.470	124.177	119.156	2402.191	10298.262	2532.004	7766.258
7	25-30	50.73	0.251	0.754	0.503	8.684	143.331	12.215	131.116	127.646	2205.729	12503.991	2954.005	9549.986
8	30-35	40.935	0.206	0.914	0.708	10.200	153.531	13.960	139.571	135.343	1948.945	14452.936	3376.006	11076.931
9	35-40	30.69	0.154	0.955	0.801	9.224	162.755	15.706	147.050	143.310	1650.935	16103.871	3798.006	12305.865
10	40-45	18.975	0.092	1.005	0.913	7.887	170.642	17.451	153.192	150.121	1297.044	17400.915	4220.007	13180.908
11	45-50	9.465	0.046	1.103	1.056	6.084	176.726	19.196	157.530	155.361	894.879	18295.794	4642.008	13653.786
12	50-55	2.19	0.011	1.164	1.153	3.322	180.048	20.941	159.107	158.319	455.958	18751.752	5064.008	13687.743
13	55-60	0.165	0.000	1.264	1.264	0.000	180.048	22.686	157.362	158.235	0.000	18751.752	5486.009	13265.743
14	60-65	3.45	0.017	1.465	1.448	-4.171	175.877	24.431	151.446	154.404	-444.684	18307.068	5908.010	12399.058
15	65-70	11.37	0.056	1.719	1.663	-9.579	166.298	26.176	140.122	145.784	-839.716	17467.352	6330.010	11137.342
16	70-75	23.835	0.117	1.459	1.342	-11.595	154.703	27.921	126.782	133.452	-1153.024	16314.329	6752.011	9562.318
17	75-80	39.96	0.200	2.115	1.915	-22.055	132.648	29.666	102.982	114.882	-1323.437	14990.892	7174.012	7816.880
18	80-85	54.735	0.270	1.199	0.929	-13.373	119.275	31.411	87.864	95.423	-1374.088	13616.804	7596.013	6020.791
19	85-90	68.175	0.335	1.785	1.450	-25.056	94.219	33.156	61.063	74.464	-1286.732	12330.072	8018.013	4312.059
20	90-95	79.275	0.389	1.875	1.486	-29.954	64.265	34.901	29.364	45.214	-911.511	11418.561	8440.014	2978.547
21	95-100	93.09	0.457	1.576	1.118	-25.759	38.506	36.646	1.860	15.612	-359.707	11058.854	8862.015	2196.840
22	100-105	104.385	0.510	0.455	-0.056	1.446	39.953	38.391	1.561	1.711	-44.345	11014.509	9284.015	1730.494
23	105-110	111	0.545	0.344	-0.201	5.795	45.748	40.136	5.612	3.587	-103.297	10911.212	9706.016	1205.196
24	110-FP	93.825	0.470	0.333	-0.137	4.355	50.103	41.881	8.222	6.917	-219.124	10692.088	10128.017	564.072
25	FP-119	20.73	0.101	0.288	0.187	-6.477	43.626	43.626	0.000	4.111	-142.071	10550.017	10550.017	0.000

Kurva Shear Force dan Bending Moment pada kondisi Light Load Sagging

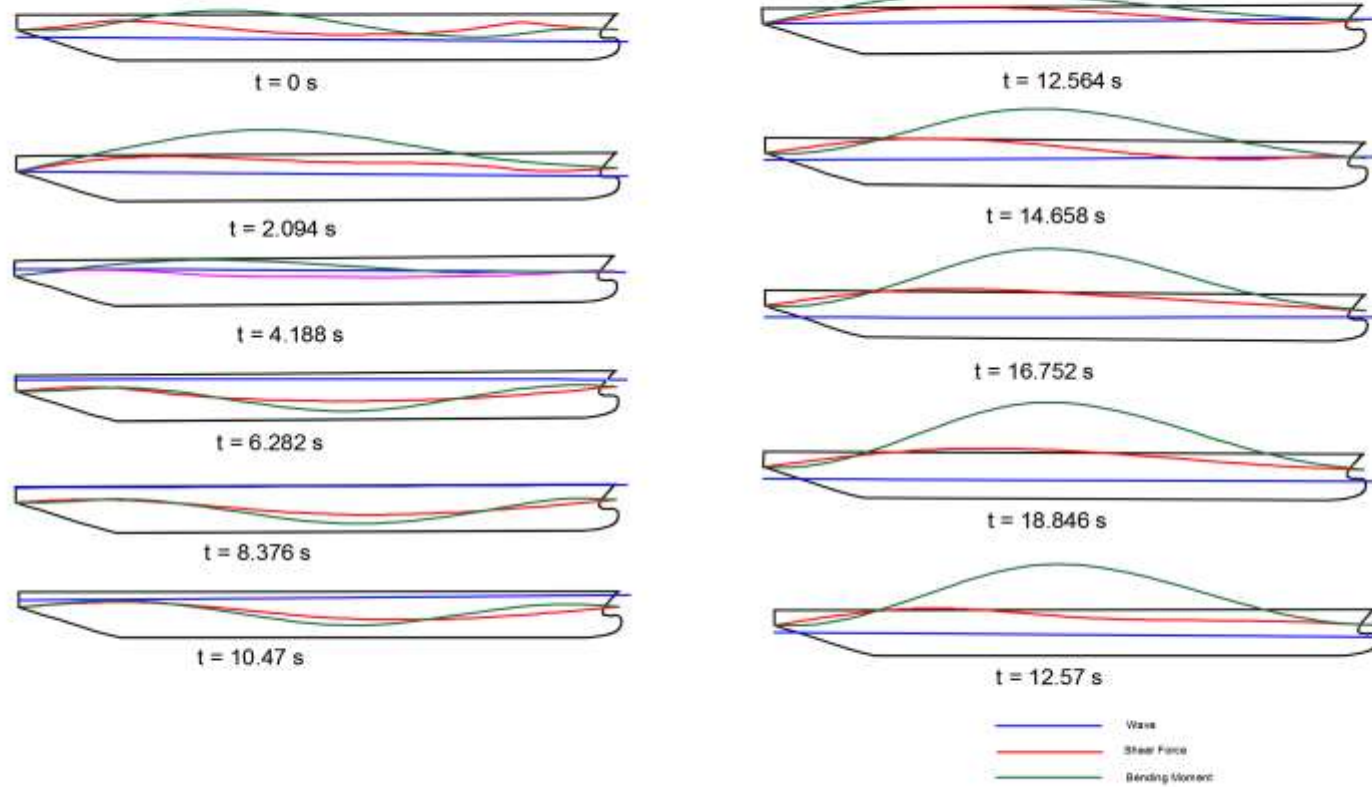


LAMPIRAN C

ANALISA QUASI-STATIS KONDISI

FULL LOAD

$$\omega = 0.3 \text{ rad/s}$$

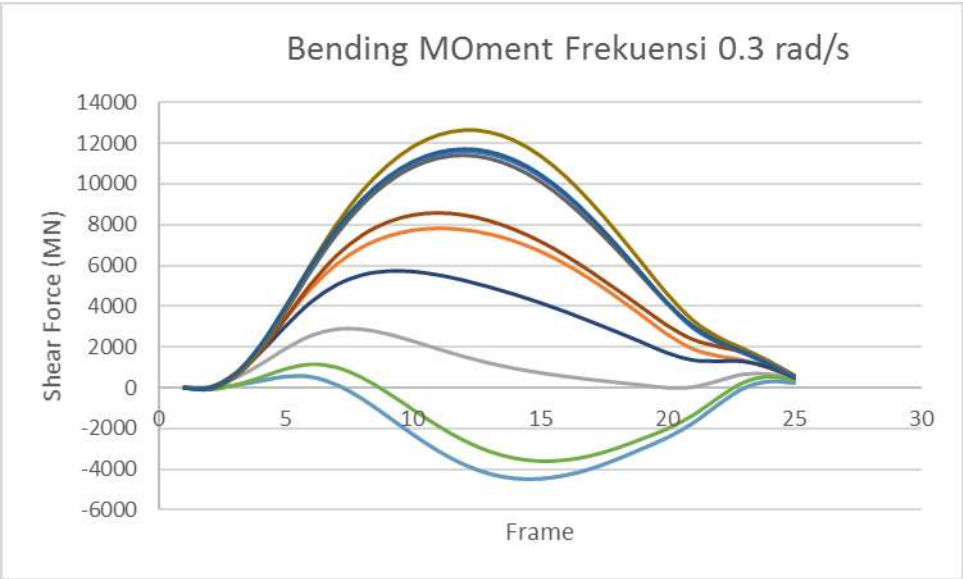
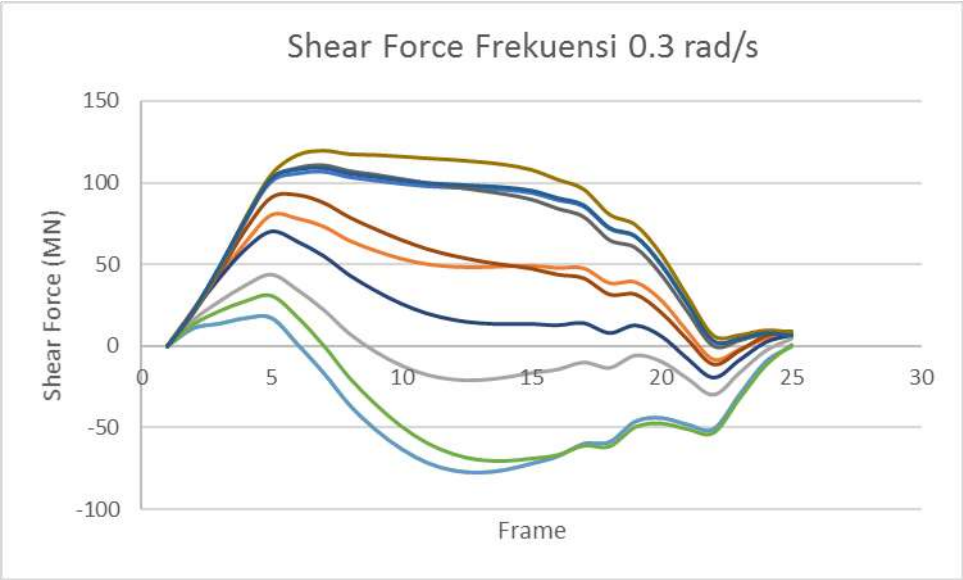


Shear Force (MN) pada Frekuensi 0.3 rad/s Kondisi Full Load

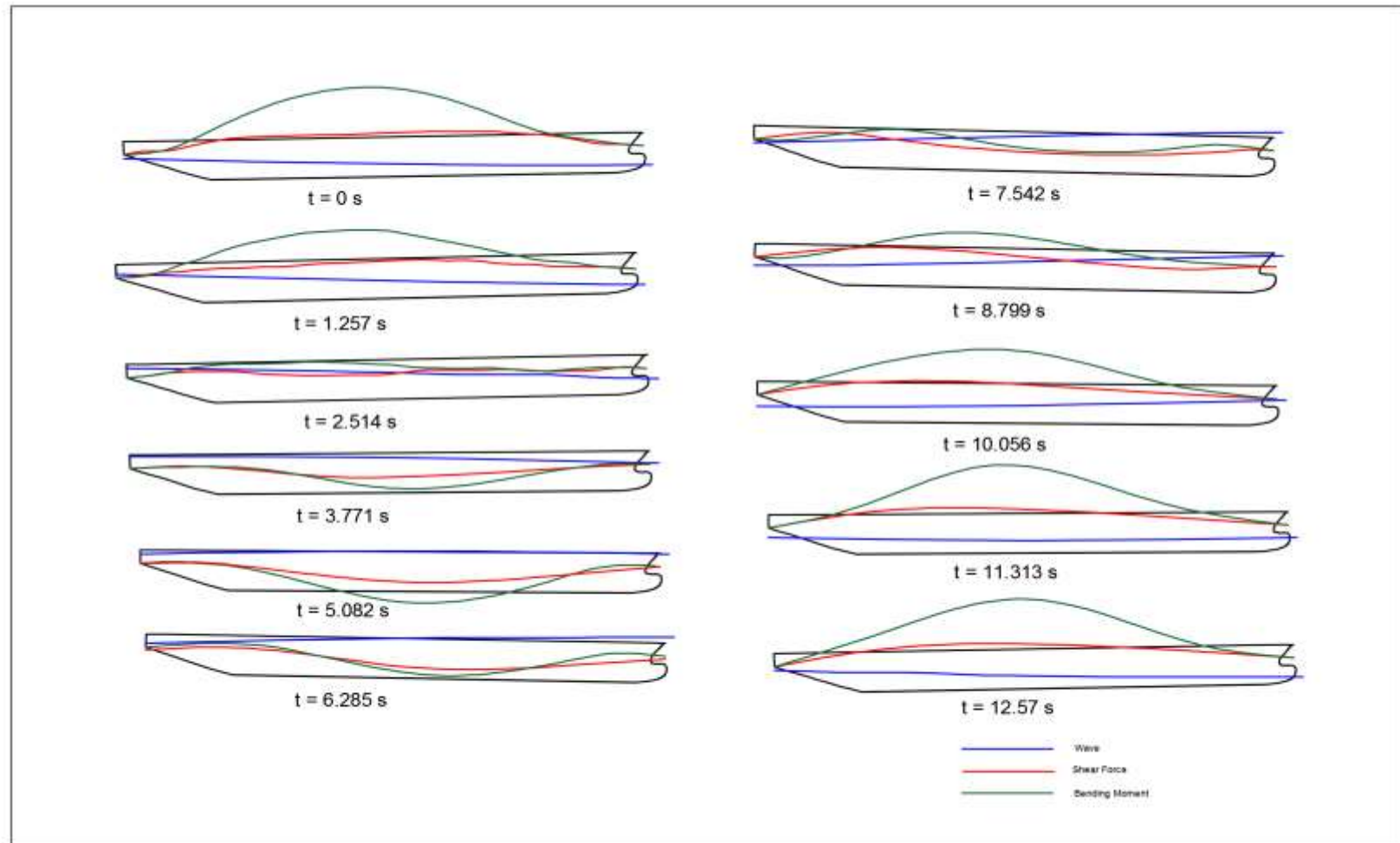
[illegible]

Bending Moment (MNm) pada Frekuensi 0.3 rad/s Kondisi Full Load

[illegible]



$$\omega = 0.5 \text{ rad/s}$$

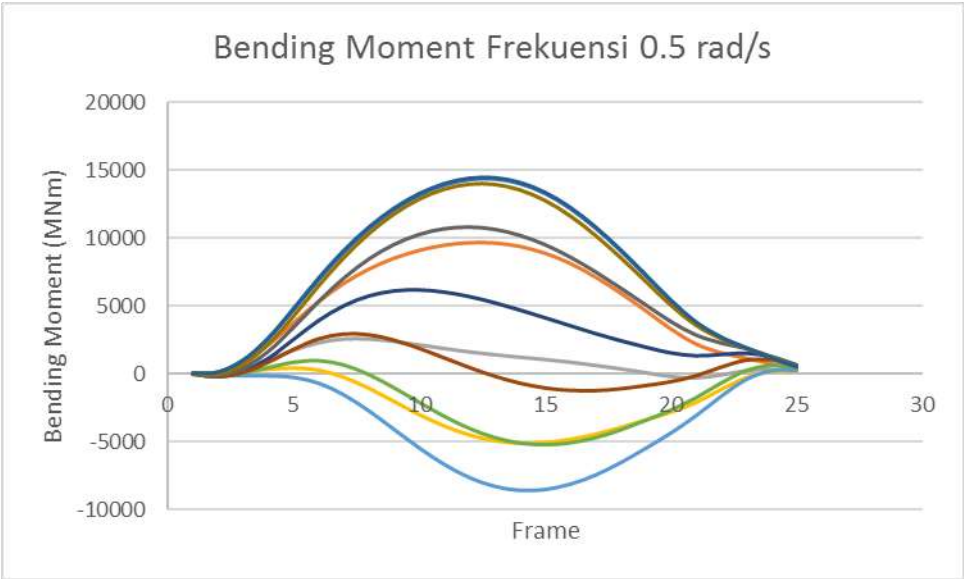
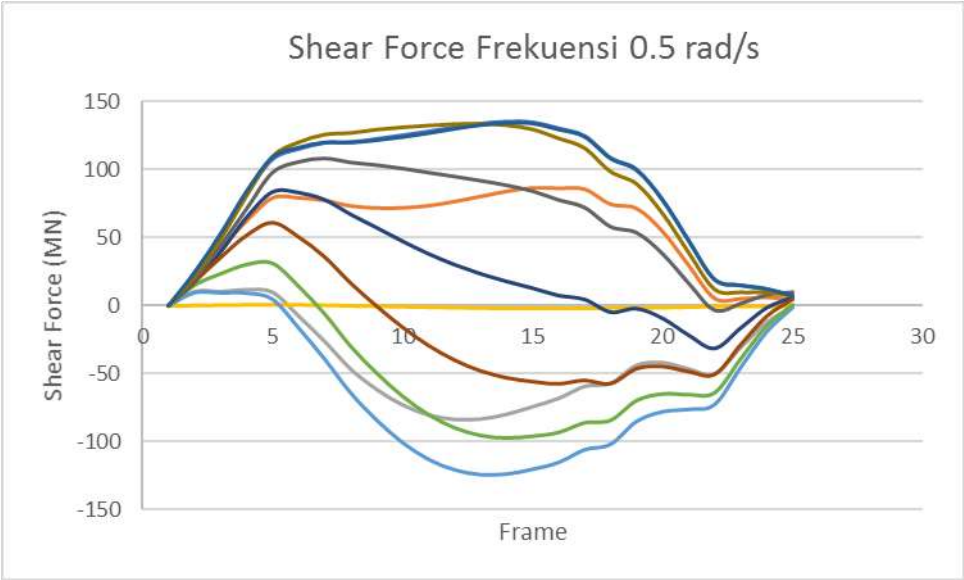


Shear Force (MN) pada Frekuensi 0.5 rad/s Kondisi Full Load

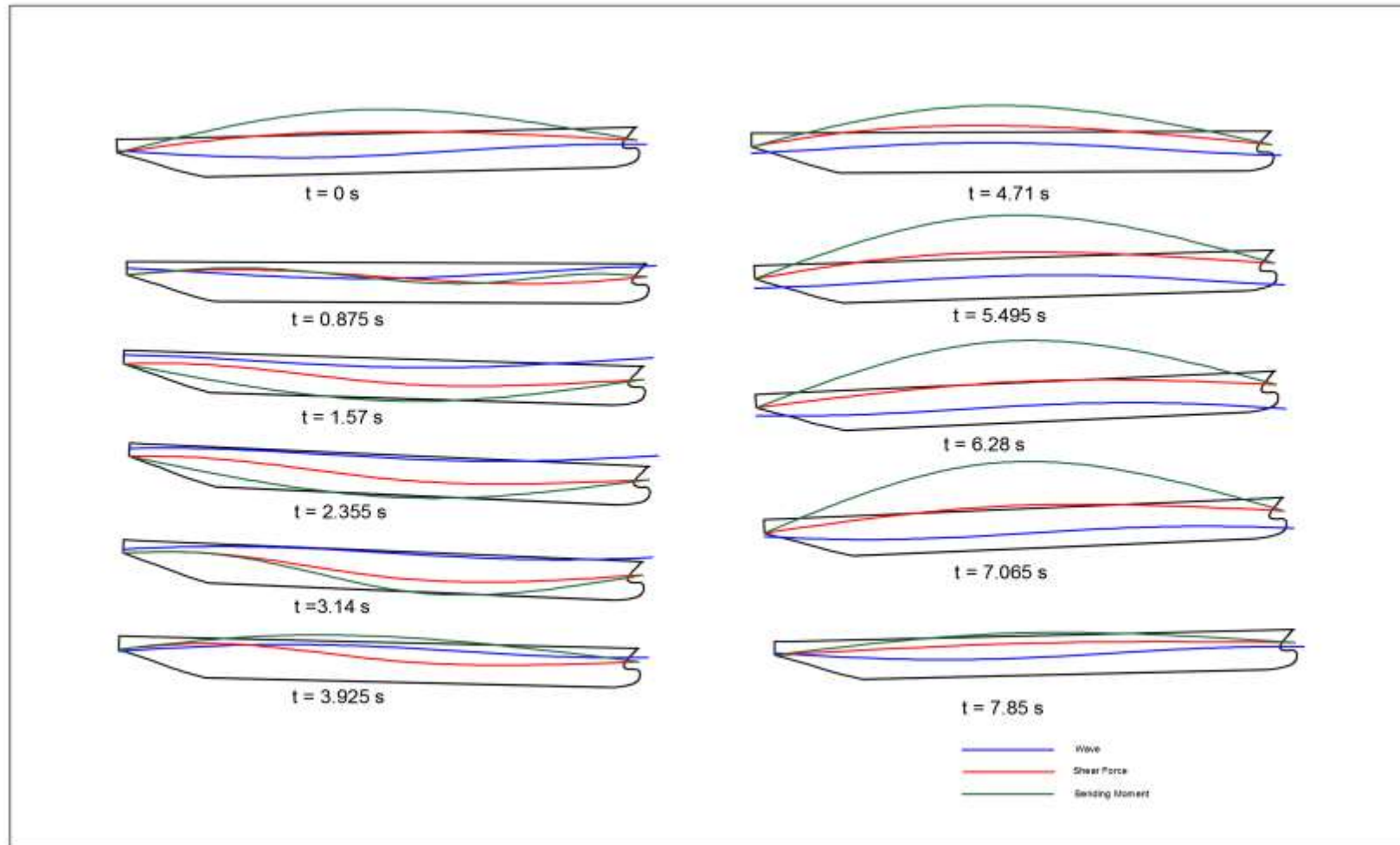
[illegible]

Bending Moment (MNm) pada Frekuensi 0.5 rad/s Kondisi Full Load

[illegible]



$$\omega = 0.8 \text{ rad/s}$$

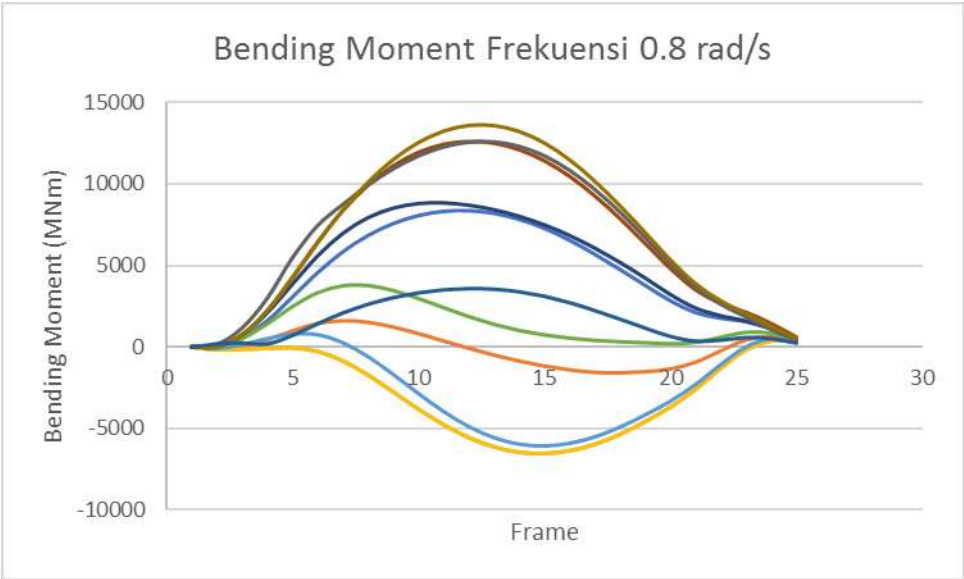
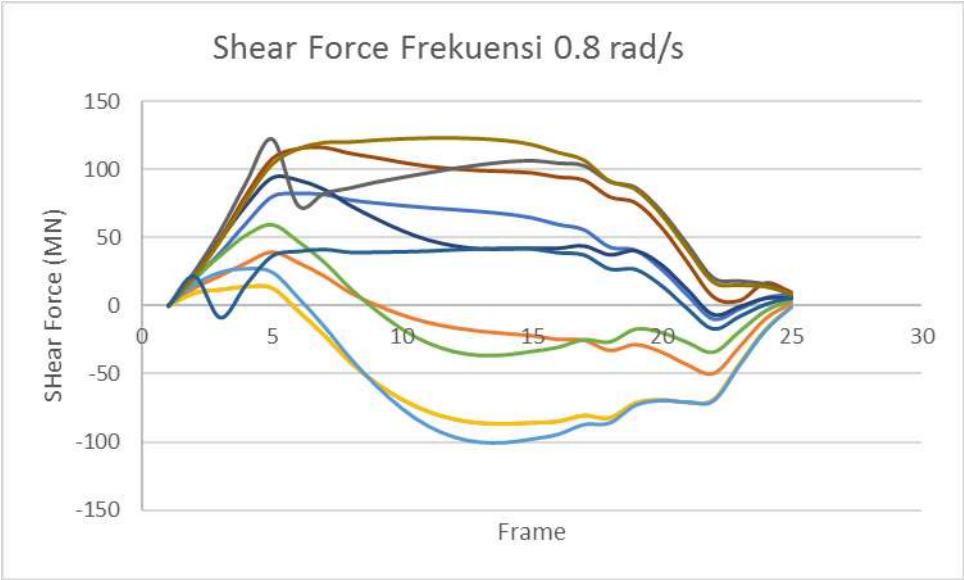


Shear Force (MN) pada Frekuensi 0.8 rad/s Kondisi Full Load

[illegible]

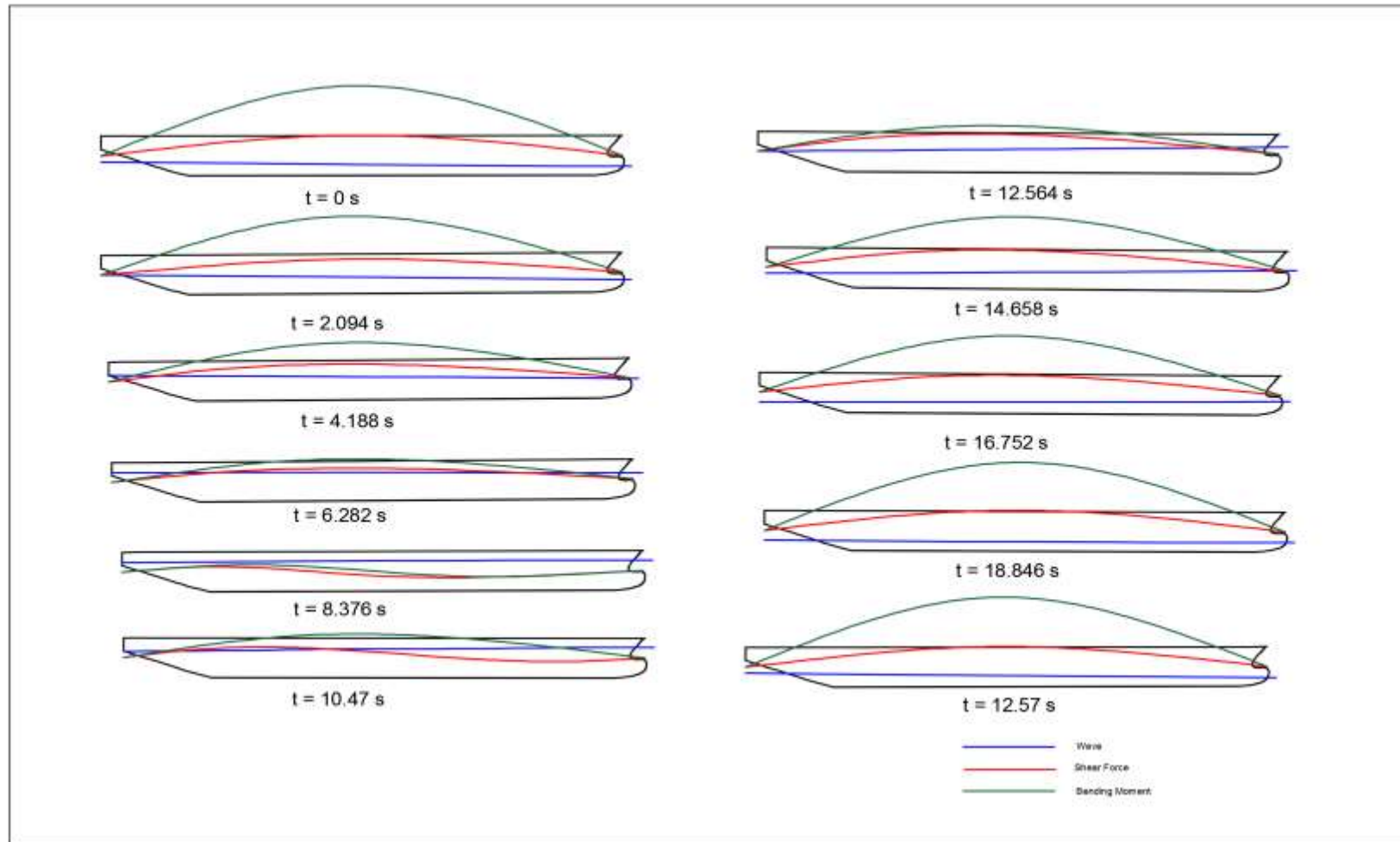
Bending Moment (MNm) pada Frekuensi 0.8 rad/s Kondisi Full Load

[illegible]



LAMPIRAN D
ANALISA QUASI-STATIS KONDISI
LIGHT LOAD

$$\omega = 0.3 \text{ rad/s}$$

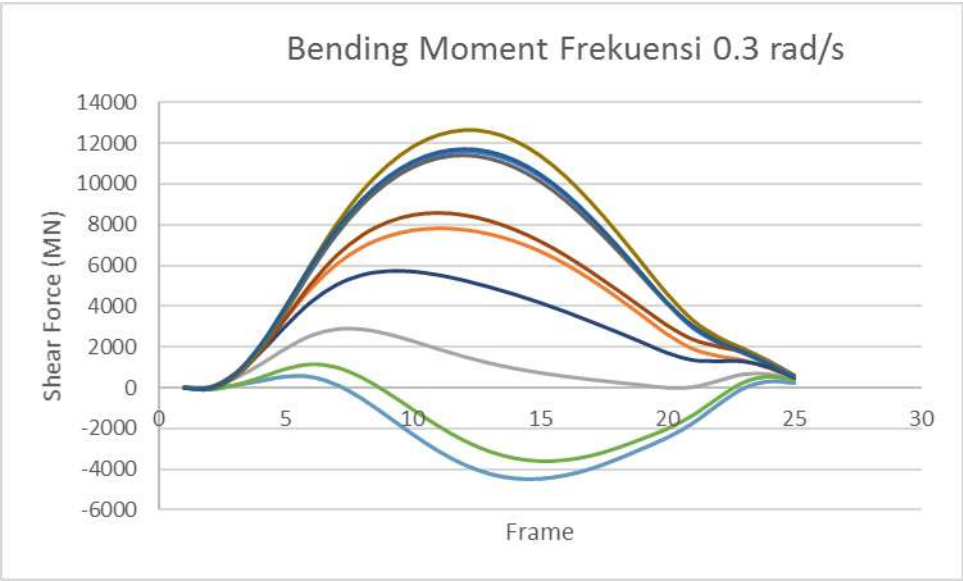
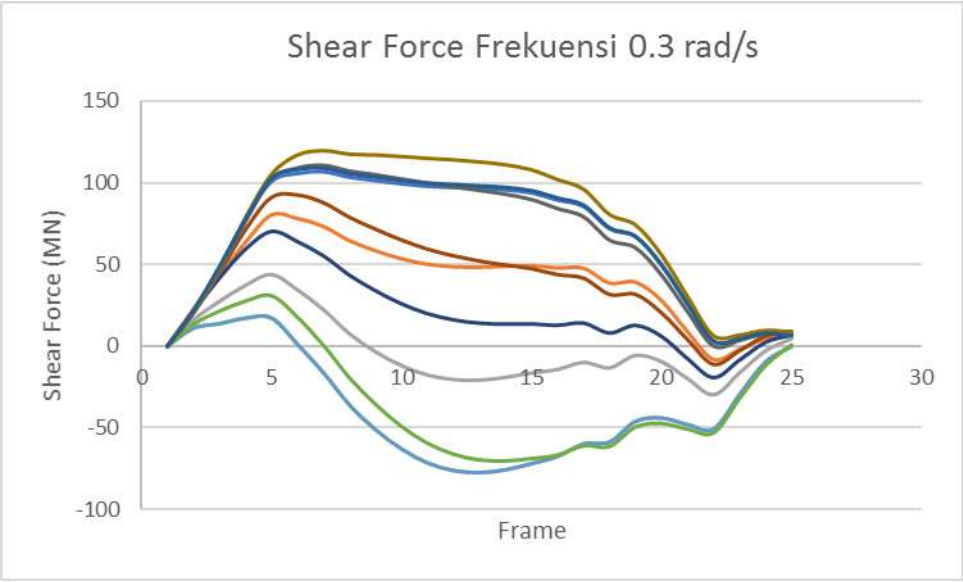


Shear Force (MN) pada Frekuensi 0.3 rad/s Kondisi Light Load

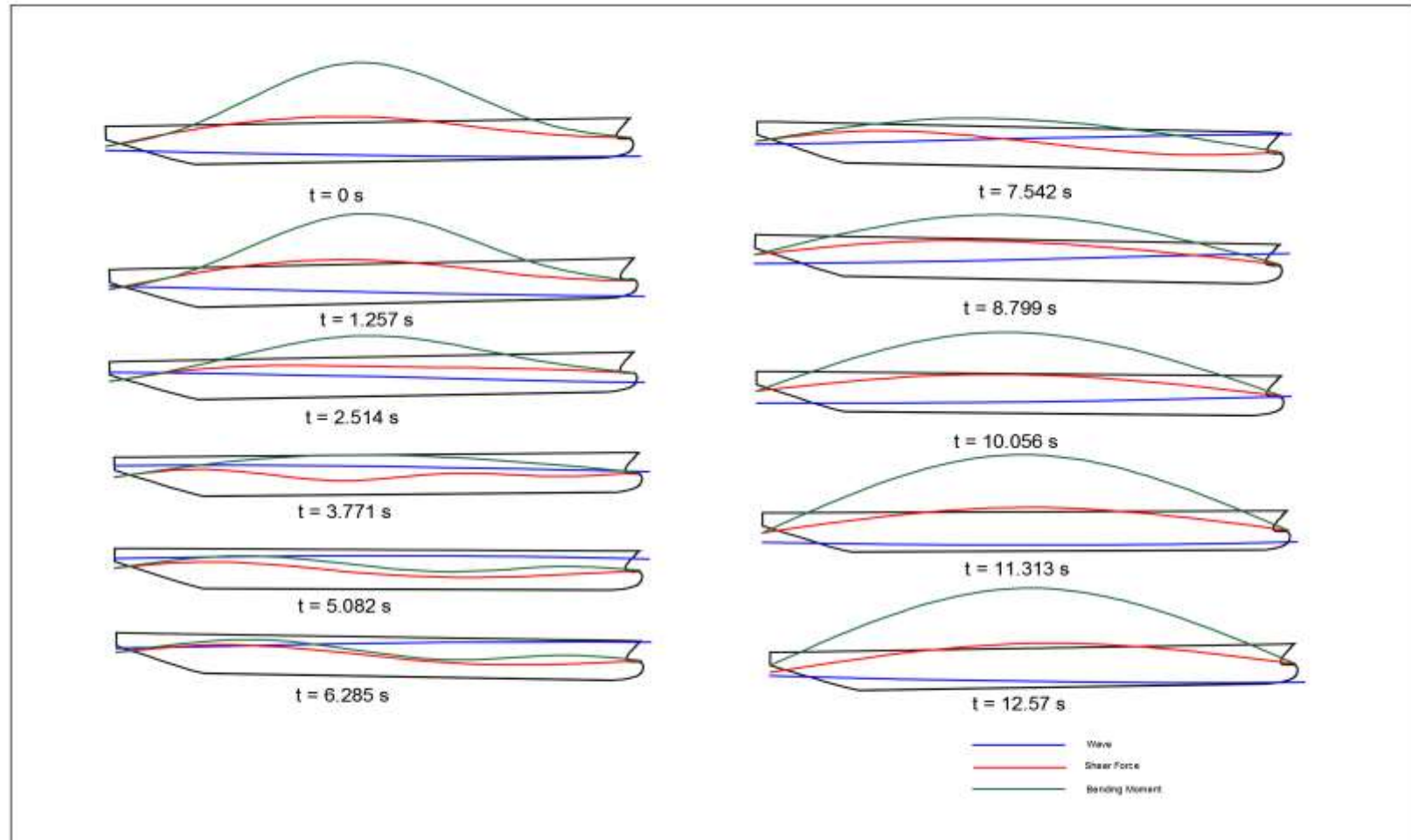
[illegible]

Bending Moment (MNm) pada Frekuensi 0.3 rad/s Kondisi Light Load

[illegible]



$$\omega = 0.5 \text{ rad/s}$$

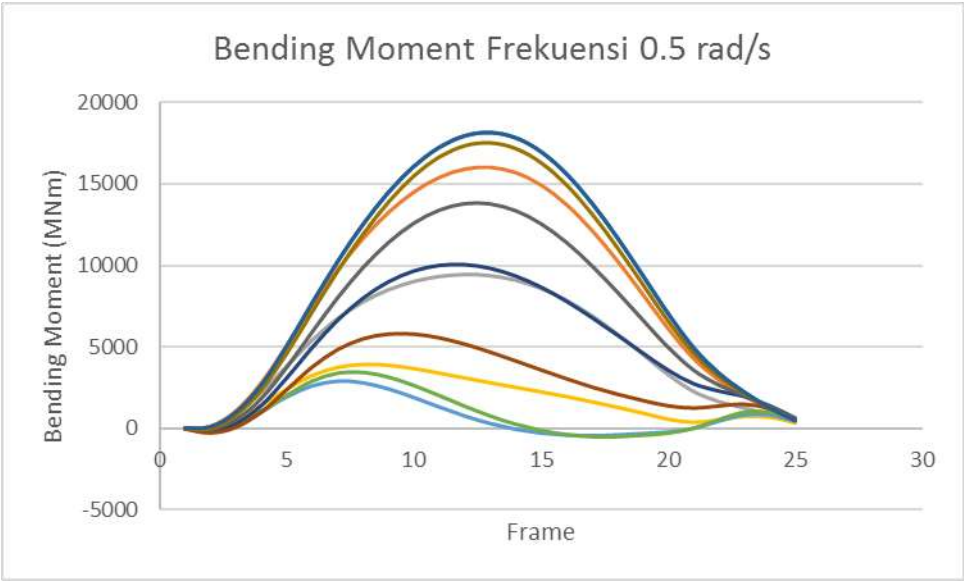
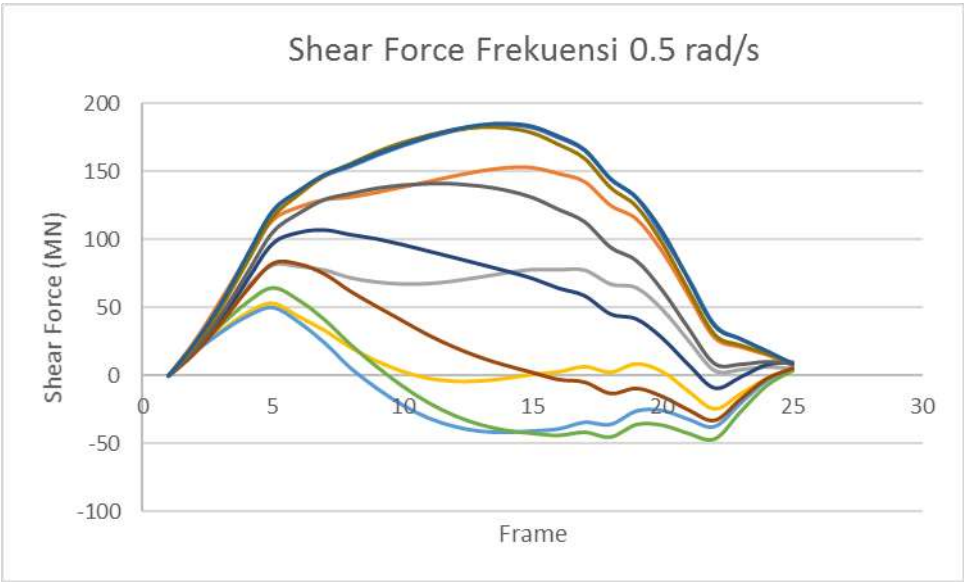


Shear Force (MN) pada Frekuensi 0.5 rad/s Kondisi Light Load

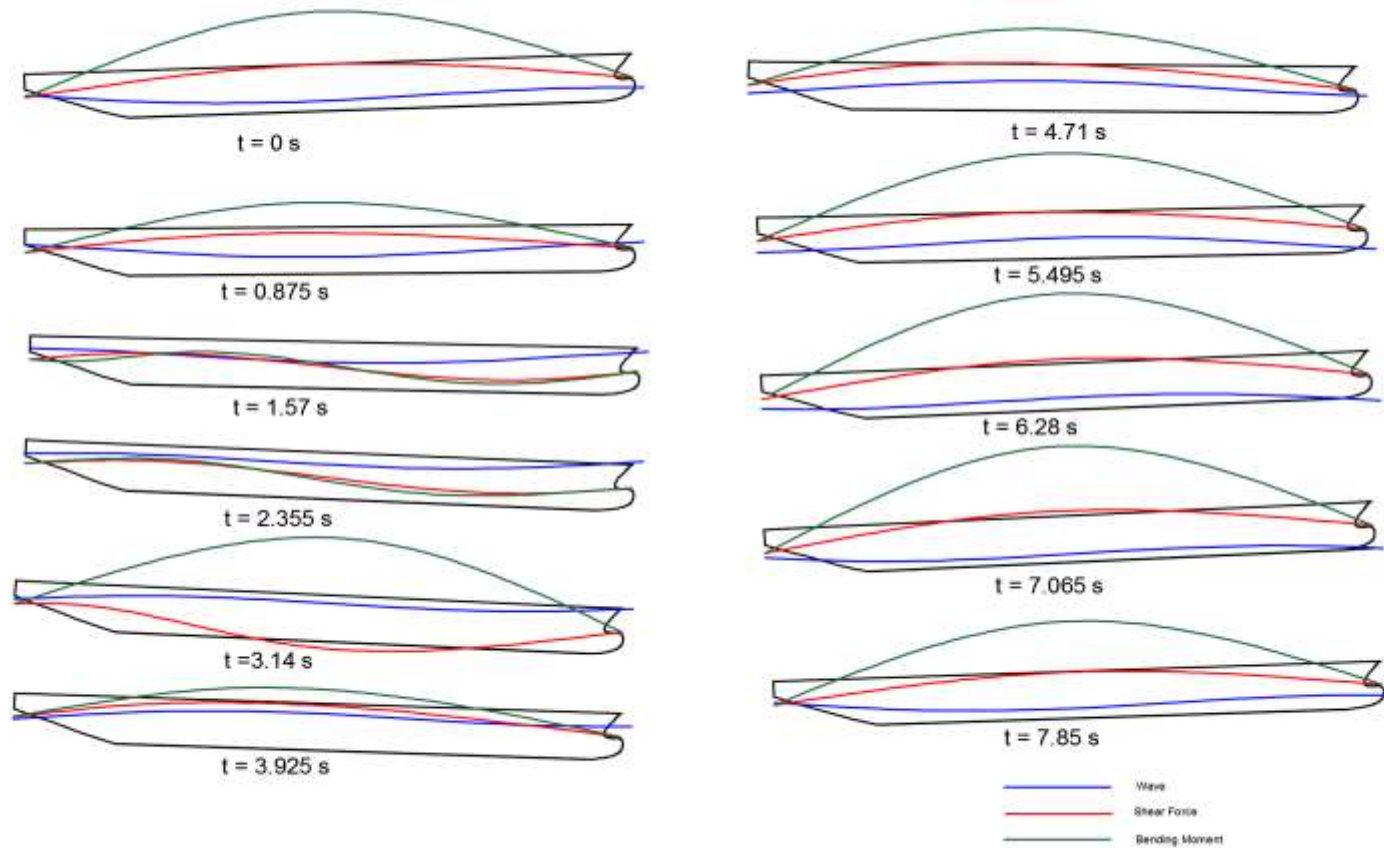
[illegible]

Bending Moment (MNm) pada Frekuensi 0.5 rad/s Kondisi Light Load

[illegible]



$$\omega = 0.8 \text{ rad/s}$$



Shear Force (MN) pada Frekuensi 0.8 rad/s Kondisi Light Load

[illegible]

Bending Moment (MNm) pada Frekuensi 0.8 rad/s Kondisi Light Load

[illegible]

LAMPIRAN E

ANALISA LONGITUDINAL

BUCKLING KONDISI FULL LOAD

1. Persamaan Longitudinal Buckling

$$\frac{\sigma_a + \sigma_b}{R_{eH}} S \leq 1$$

Dimana,

σ_a = Tegangan merata sepanjang sumbu penguat

= σ_x Untuk penguat memanjang

= σ_y Untuk penguat melintang

σ_b = *Bending stress* pada penguat

$$= \frac{M_0 + M_1}{W_{st} \cdot 10^3}$$

R_{eH} = Koefisien Material

$$= 235 \text{ N/mm}^2$$

S = Faktor Keselamatan

$$= 1.1$$

2. Perhitungan *Bending Stress* (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{M_0 + M_1}{W_{st} \cdot 10^3}$$

Dimana,

$$M_0 = F_{Kix} \frac{p_{zx} \cdot w}{c_f - p_z}$$

$$M_1 = \frac{p \cdot b \cdot a^2}{24 \cdot 10^3}$$

- Hitung M_1

$$a = 600 \text{ mm}$$

$$b = 3600 \text{ mm}$$

$$p = 3.521985049 \text{ kN/m}^2 \quad 3521.985049 \text{ N/mm}^2$$

Sehingga didapat dari hasil perhitungan bahwa nilai M_1

$$M_1 = 316978.6544 \text{ N.mm}$$

- Hitung M_0

$$\begin{aligned} F_{Kix} &= 444208983912.83 \\ p_{zx} &= 237918.6706 \\ w &= 5.000084067 \text{ mm} \\ c_f &= 24356483.01 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan sesuai dengan menggunakan persamaan M_0 di atas didapatkan

$$M_0 = 21909966602$$

- Hitung σ_b

Setelah diketahui nilai M_1 dan M_0 maka barulah bisa kita hitung nilai untuk *bending stress* (σ_b)

$$\sigma_b = 0.026960271 \text{ N/mm}^2$$

3. Tegangan Aksial (σ_a)

Dari perhitungan *scantling calculation* didapatkan nilai (σ_a) sebagai berikut

$$\sigma_a = 0.016543 \text{ N/mm}^2$$

4. Longitudinal Buckling

Sehingga didapatkan hasil pengecekan *longitudinal buckling* untuk kondisi *full load* sebagai berikut:

Longitudinal Buckling Check	0.000203632	allow
-----------------------------	-------------	-------

LAMPIRAN F

ANALISA LONGITUDINAL

BUCKLING KONDISI LIGHT LOAD

1. Persamaan Longitudinal Buckling

$$\frac{\sigma_a + \sigma_b}{R_{eH}} S \leq 1$$

Dimana,

σ_a = Tegangan merata sepanjang sumbu penguat

= σ_x Untuk penguat memanjang

= σ_y Untuk penguat melintang

σ_b = *Bending stress* pada penguat

$$= \frac{M_0 + M_1}{W_{st} \cdot 10^3}$$

R_{eH} = Koefisien Material

$$= 235 \text{ N/mm}^2$$

S = Faktor Keselamatan

$$= 1.1$$

2. Perhitungan *Bending Stress* (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{M_0 + M_1}{W_{st} \cdot 10^3}$$

Dimana,

$$M_0 = F_{Kix} \frac{p_{zx} \cdot w}{c_f - p_z}$$

$$M_1 = \frac{p \cdot b \cdot a^2}{24 \cdot 10^3}$$

- Hitung M_1

$$a = 600 \text{ mm}$$

$$b = 3600 \text{ mm}$$

$$p = 3.521985049 \text{ kN/m}^2 \quad 3521.985049 \text{ N/mm}^2$$

Sehingga didapat dari hasil perhitungan bahwa nilai M_1

$$M_1 = 316978.6544 \text{ N.mm}$$

- Hitung M_0

$$\begin{aligned} F_{Kix} &= 444208983912.83 \\ p_{zx} &= 341300.6766 \\ w &= 5.000084067 \text{ mm} \\ c_f &= 24356483.01 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan sesuai dengan menggunakan persamaan M_0 di atas didapatkan

$$M_0 = 31565734888$$

- Hitung σ_b

Setelah diketahui nilai M_1 dan M_0 maka barulah bisa kita hitung nilai untuk *bending stress* (σ_b)

$$\sigma_b = 0.038841547 \text{ N/mm}^2$$

3. Tegangan Aksial (σ_a)

Dari perhitungan *scantling calculation* didapatkan nilai (σ_a) sebagai berikut

$$\sigma_a = 0.016543 \text{ N/mm}^2$$

4. Longitudinal Buckling

Sehingga didapatkan hasil pengecekan *longitudinal buckling* untuk kondisi *light load* sebagai berikut:

Longitudinal Buckling Check	0.000259247	allow
-----------------------------	-------------	-------

LAMPIRAN G
PERHITUNGAN MODULUS
SECTION

1. Perhitungan momen inersia

No	Item	Quantity	Width (cm)	Height (cm)	Total Area	COG On Base (m)	Moment	$A \times I^2$	M.Inertia
1	Keel Plate	1	150	1.4	210	0.7	147	102.9	34.3
2	Bottom Plate								
	Bottom Plate 1 & 2	4	180	1.2	864	11.8	10195.2	120303.36	103.68
	Bottom Plate 3	2	120	1.2	288	26.2	7545.6	197694.72	34.56
	Bottom Plate 4	2	100	1.2	240	33.3	7992	266133.6	28.8
3	Bilge Plate	2	165	1.2	396	82.92	32836.32	2722787.654	47.52
4	Sheel Plate								
	Sheel Plate 1	2	1	150	300	231	69300	16008300	562500
	Sheel Plate 2	2	1	89	178	350.5	62389	21867344.5	117494.8333
	Sheel Plate 3	2	1	145	290	467.5	135575	63381312.5	508104.1667
	Sheel Plate 4	2	1	125	250	602.5	150625	90751562.5	325520.8333
5	Inner Bottom Plate	2	679	0.8	1086.4	14.4	15644.16	225275.904	57.94133333
6	Center Girder								
	Web	1	1.2	50	60	25	1500	37500	12500
	Flange	1	40	1.2	48	50.6	2428.8	122897.28	5.76
7	Trunk	1	1	13.9	13.9	70.5	979.95	69086.475	223.8015833
8	Side Girder	2	0.8	12.25	19.6	78.7	1542.52	121396.324	245.1020833
9	Second Deck Plate	1	369.766	0.8	295.8128	38.4	11359.21	436193.7224	15.77668267
10	Long Girder Plate Second Deck								
	Web	6	1.2	25	180	367.5	66150	24310125	9375
	Flange	6	15	1.2	108	354.4	38275.2	13564730.88	12.96
11	Main Deck Plate	1	1480	1.2	1776	65.6	116505.6	7642767.36	213.12
12	Center Girder for Main Deck								
	Web	1	1.2	25	30	637.5	19125	12192187.5	1562.5
	Flange	1	10	1.2	12	624.4	7492.8	4678504.32	1.44
13	Side Girder for Main Deck								
	Web	6	1.2	25	180	637.5	114750	73153125	9375
	Flange	6	10	1.2	72	624.4	44956.8	28071025.92	8.64
14	Long Wall (Above Main Deck)	4	0.8	270	864	785	678240	532418400	5248800
15	Bridge Deck Plate	1	1480	0.8	1184	92.4	109401.6	10108707.84	63.14666667
16	Center Girder for Bridge Deck								
	Web	1	1.2	20	24	637.5	15300	9753750	800
	Flange	1	10	1.2	12	624.4	7492.8	4678504.32	1.44
Total					8981.713		1727750	916899719.58	6797130.32

2. Perhitungan deck dan bottom section modulus

COG Bottom	=	192.3630381	cm	1.923630381	m
COG Deck	=	727.6369619	cm	7.276369619	m
I_{xx}	=	923696849.90	cm ⁴	9.236968499	m ⁴
I_{na}	=	591341695.2	cm ⁴	5.913416952	m ⁴
Bottom Section Modulus	=	3074092.097	cm ³	3.074092097	m ³
Deck Section Modulus	=	812687.8184	cm ³	0.812687818	m ³

BIODATA PENULIS



Tsany Naufal, lahir di kota Surabaya pada tanggal 23 November 1994, merupakan anak terakhir dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Mutiara Bunda Sidoarjo, SMPN 1 Candi Sidoarjo dan SMAN 15 Surabaya. Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) melalui jalur SBMPTN dan terdaftar dengan NRP 4313100078. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif menjadi Staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMATEKLA 14/15, Sekretaris OC Ombak HIMATEKLA 14/15, Staff ahli sie perlengkapan ITS EXPO 2015, Ketua Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMATEKLA 15/16, Staff ahli sie Akomodasi dan Transportasi OCEANO 5, dan Pengurus Lab. Hidrodinamika FTK ITS 16/17. Penulis juga aktif menjadi panitia kegiatan kampus dan aktif pada Latihan Kepemimpinan Manajemen Mahasiswa (LKMM). Pada tahun 2016, penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di RINA (Registro Italiano Navale) selama dua bulan. Selama masa studi strata I yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang hidrostruktur sehingga dalam Tugas Akhir ini mengambil topik Kekuatan Memanjang dan *Longitudinal Buckling* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*.

Email : tsanynaufal23@gmail.com